

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Tlakověsná rychlouzavírací mřížka klimatizace

Pressure Proof Air-Condition Quick-Closing Grating

Student:

Bc. Jakub Mokroš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Mokroš**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 20 Výrobní stroje a zařízení
Téma: **Tlakotěsná rychlouzavírací mřížka klimatizace**
Pressure Proof Air-Condition Quick-Closing Grating

Zásady pro vypracování:

Navrhnete konstrukční řešení tlakotěsné uzavírací mřížky klimatizace. Mřížka je určena pro tlakotěsný velkoprostorový klimatizovaný vůz vysokorychlostního vlaku, jehož maximální rychlost je 200km/h.

Výchozí parametry:

Množství nasávaného vzduchu	2000m ³ /h.
Max. tlakové rázy působící na skříň vozidla při provozu jsou	3000 Pa.
Max. rychlost vzduchu na mřížce	3,5m/s.

Proveďte:

- rešerši stávajících řešení - zhodnocení stávajícího stavu s ohledem na vznik tlakových rázů při provozu vlaků, citlivost člověka na tlakové rázy a kritéria pohodlí, vliv tlakotěsnosti na systém ventilace a klimatizace,
- zpracování možných variant a výběr nejlepšího řešení dle zvolených kritérií,
- technickou zprávu s popisem funkce navrhovaného zařízení doplněnou nezbytnými výpočty včetně pevnostní analýzy zatížení konstrukce rychlouzavírací mřížky sání klimatizace vlivem tlakových rázů působících na vozovou skříň
- projekční návrh celkového řešení tlakotěsné uzavírací mřížky klimatizace v návaznosti na okolní konstrukce včetně návrhu její montáže do bočnice vozu,
- detailní konstrukční návrh rychlouzavírací mřížky sání klimatizace včetně určených konstrukčních uzlů,
- výkresovou dokumentaci v celkovém rozsahu min.2xA0.

Seznam doporučené odborné literatury:

- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- KOLÁŘ J.: *Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel* Skripta ČVUT 2009.
- DOUDA, HEPNER, KOLÁŘ : *Pozemní dopravní prostředky* , Skripta ČVUT 2009.
- KOPÁČEK J. : *Pohony a převody 1. vyd.* Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000, 211 s. ISBN 80-7078-806-2
- LENERT J.: *Pružnost a pevnost I. 1. vyd.* - Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 140 s. : il.

ISBN 80-7078-392-3

Normy, vyhlášky UIC553,553-1, UIC 660

Firemní literatura a podklady, odborné časopisy apod.

Literární rešerše zpracovaná v rámci Diplomového projektu.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было с́еднано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- было с́еднано, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Jakub Mokroš

Adresa trvalého pobytu autora práce: Rolnická 27, Opava, 747 05

Anotace diplomové práce

MOKROŠ, J. *Tlakotěsná rychlouzavírací mřížka klimatizace*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 81 s.
Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

Diplomová práce se zabývá tématem tlakotěsné rychlouzavírací mřížky klimatizace do kolejových vozidel. Teoretická část je zaměřena na popis funkcí klimatizace, vznik šíření tlakových rázů, vliv tlakových rázů na skříň vozu a člověka. Dále se práce věnuje zjištění požadavků kladených na uzavíratelnou mřížku. V praktické části se práce zabývá volbou vhodné varianty konstrukce mřížky. Následně jsou rozebrány a popsány jednotlivé části mechanismu mřížky. Další část se věnuje potřebným výpočtům. Závěr práce popisuje připevnění celku uzavíratelné mřížky do hrubé stavby vozu.

Annotation of master thesis

MOKROŠ, J. *Pressure Proof Air-Condition Quick-Closing Grating*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2012, 81 s. Thesis head: doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář

This thesis deals with quick-grid air conditioning in vehicles. The theoretical part is focused on describing features air conditioning, the emergence and spread of pressure surges, shock wave effect on the body of a wagon and man. Further, detection requirements for lockable grid. In the practical part deals with the choice of a suitable version of the grid. Following are analysed and described the various parts of the mechanism of the grid. Another part deals with the necessary calculations. The conclusion describes the attachment of the whole grid to closed shell construction of the car.

Seznam použitých symbolů a zkratek

α	Úhel	[°]
β	Úhel	[°]
Δ	Rozdíl	[-]
σ_o	Sigma dovolená v ohybu	[MPa]
σ_t	Napětí v ohybu	[MPa]
σ_{red}	Redukované napětí	[MPa]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
τ	Napětí v krutu	[MPa]
τ_{\perp}	Napětí kolmé na rovinu svaru	[MPa]
τ_{\parallel}	Napětí rovnoběžné s rovinou svaru	[MPa]
τ_1	Redukované ve svaru	[MPa]
τ_{ds}	Napětí dovolené ve střihu	[MPa]
γ	Úhel stoupání závitu	[°]
a	Tloušťka stěny plechu	[mm]
$asv1, asv2$	Délka svaru	[mm]
b	Délka otlačení	[mm]
c	Vzdálenost ojnice od uložení	[mm]
e	Vzdálenost středu lamel od svaru	[mm]
h	Šířka lamely	[mm]
L	Délka lamely	[mm]
$lsv1, lsv2$	Délka svaru	[mm]
ap	Zrychlení	[m/s ²]
C_x	tvarová konstanta aerodynamického odporu	[-]
D, d	Průměr	[mm]
d_2	Střední průměr závitu	[mm]
d_3	Nejmenší průměr šroubu	[mm]
d_s	Průměr na kterém působí třecí síla	[mm]
E_k	Kinetická energie	[J]
F	Síla působící na jeden šroub ve vedení drážky	[N]

Fč	Síla působící na čep	[N]
Fa	Aerodynamická složka jízdního odporu	[N]
FD	Síla působící na válce	[N]
Fg	Síla na jeden šroub pro upevnění do hrubé svavby	[N]
FI	Síla působící na půl lamely labirintu	[N]
Fpr	Síla pružiny ve válci	[N]
FPP	Síla přenesená na zavření mřížky	[N]
FT	Třecí síla v ložiscích	[N]
FT1	Třecí síla na jeden šroub	[N]
FT0	Třecí síla	[N]
FU	Síla působící na jeden U profil pro připevnění pneu. válce	[N]
Fval.	Síla vyvozená jedním válcem	[N]
Fpot.	Síla potřebná jedním válcem	[N]
Fzav.	Síla na zavření mřížky	[N]
f, fz, fh	Koeficient tření	[-]
G	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
i, im, ip	Počet	[-]
k _{so}	Bezpečnost	[-]
Ma	Machovo číslo	[-]
Mu	Utahovací moment	[Nmm]
Mz	Krouticí moment	[Nmm]
Obr.	Obrázek	
Ph	Stoupání závitu	[mm/ot.]
PTFE	Teflon	
p,pd	Tlak	[Pa, MPa]
Q _{tab} , Q _p , Q	Objemový průtok	[m ³ /hod.]
Re	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
Tab.	Tabulka	
t,tč	Čas	[s]
V	Objem	[m ³]

v, v_z	Rychlost	[m/s]
W_k	Průřezový modul v krutu	[m ³]
W_o	Kvadratický moment pružnosti	[m ³]
S	Plocha potřebná pro dostatečný průtok vzduchu	[m ²]
S_1, S_2, S_3	Plochy potřebné pro dostatečný průtok vzduchu v labyrintu	[m ²]
S_{sv1}, S_{sv2}	Plocha svaru	[m ²]

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Klimatizace vozu	13
3	Tlakové vlny	14
3.1	<i>Tlakové vlny v tunelu</i>	<i>16</i>
3.2	<i>Tlakopevnost</i>	<i>18</i>
3.3	<i>Tlakový komfort.....</i>	<i>19</i>
3.4	<i>Vliv změny tlaku na lidský organismus</i>	<i>20</i>
4	Zjištění potřebného objemu vzduchu	21
5	Stávající řešení.....	24
6	Možné druhy řešení.....	25
6.1	<i>Řešení uzavíratelné mřížky</i>	<i>25</i>
6.2	<i>Pohon uzavírání mřížky</i>	<i>27</i>
6.3	<i>Vnější ochranná mříž</i>	<i>28</i>
7	Výběr nejlepší varianty	29
8	Vnější ochranná mříž	36
8.1	<i>Rychlost proudění skrz labyrint</i>	<i>37</i>
8.2	<i>Tvar a uspořádání labyrintu ochranné mříže</i>	<i>39</i>
8.3	<i>Profil ochranné mříže</i>	<i>40</i>
9	Uzavíratelná mřížka klimatizace	42
9.1	<i>Popis základních částí mechanismu zavírání.....</i>	<i>42</i>
9.2	<i>Varianty řešení</i>	<i>46</i>
9.2.1	<i>S válcem uloženým šikmo</i>	<i>46</i>
9.2.2	<i>S přitlačnými klíny.....</i>	<i>47</i>
9.2.3	<i>S válcem uloženým souběžně s mřížkou</i>	<i>48</i>
9.3	<i>Ochrana pístitnice.....</i>	<i>49</i>

10	Kontroly namáhání	50
11	Volba vhodného válce.....	59
11.1	<i>Teoretická rychlost uzavření mřížky</i>	63
12	Tlakové čidlo	65
13	Výpočty utahovacích momentů šroubových spojení a jejich kontrola	66
14	Přípevnění mřížky do konstrukce vozu.....	72
15	Závěr.....	75
16	Odkazy a použitá literatura	78
17	Seznam příloh	80

1 Úvod

Pro zvýšení pohodlí cestujících v kolejové přepravě je nutné odstranit nebo zmírnit veškeré negativní projevy, které člověk může vnímat. Mimo jiné se jako nepříjemný element při cestování vlakem projevuje tlakový ráz, vznikající především při průjezdu tunelem. Tento tlakový ráz se může při nižších rychlostech projevovat jako tzv. zalehnutí ušních bubínků, při vyšších rychlostech může způsobit citlivějším jedincům i nepříjemné bolesti v uších.

Abychom takovýto negativním účinkům zabránili, je nutné tlakovým rázům zamezit přístup do kabiny cestujících. Tlakové ochrany lze rozdělit do dvou skupin. Aktivní ochrana, ta spočívá v uzavřeném okruhu klimatizace. Ventilace je prováděna neustále.

Druhou skupinu ochran pak tvoří ochrana pasivní. Při tomto způsobu ochrany není výměna vzduchu stálá. Při vzniku rázových vln dochází k uzavření systému, a to na dobu nezbytně nutnou pro překonání působení změn tlaku. Při tomto uzavření dochází k 100 % cirkulaci vzduchu uvnitř kabiny, tedy k nulovému nasávání čerstvého vzduchu. Při delších časech překonávání tlakových rázů nastává problém hromadění oxidu uhličitého v kabině vozu. Z tohoto hlediska je tato metoda ochrany naprosto nevhodná pro dlouhé cesty tunely, například v Euro tunelu pod kanálem La Manche, nebo delších tunelech pod jinými přírodními překážkami.

Důležitým prvkem takovéto pasivní ochrany je zařízení, jež zamezí vniku tlakové vlny do systému klimatizace a poté do kabiny pro cestující. Jako vhodný způsob uzavření okruhu se nabízí jednoduchá klapka. Tento jednoduchý způsob je v tomto případě naprosto dostačující řešení. Klapka musí splňovat určité parametry. Odolat tlakovému rázu, který na ní bude působit, uzavírat se dostatečnou rychlostí, aby zamezila průniku tlakové vlny. Zařízení by mělo být také bezúdržbové, tedy poměrně jednoduše konstrukčně řešeno.

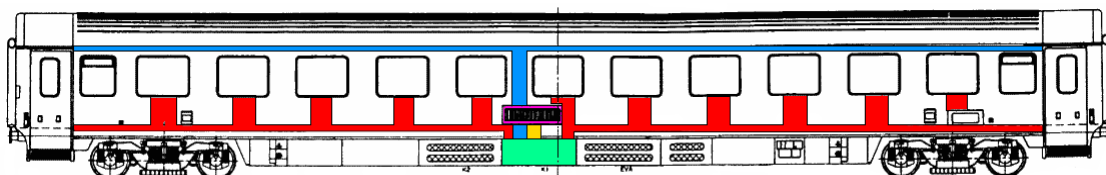
Cílem práce je vytvořit zařízení, které bude splňovat veškeré předchozí požadavky.

2 Klimatizace vozu

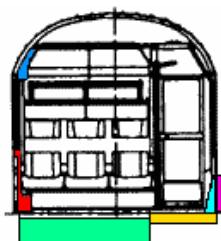
Systém klimatizace slouží pro přívod čerstvého vzduchu. Úpravu a rozvod vzduchu připraveného, tedy ohřátého, nebo ochlazeného a zbaveného vlhkosti. V poslední řadě odvodu již upotřebeného vzduchu.

Čerstvý vzduch je nasáván uzavíratelnou mřížkou klimatizace (Obr. 1, 2 fialově). Poté je kanálem (Obr. 1, 2 žlutě) vedena do agregátu klimatizace (na Obr. 1, 2 zeleně). V tomto zařízení je upravován podle potřeby. Tedy ochlazován, nebo ohříván. Na této upravě záleží další rozvádění vzduchu. Při ohřevu vzduchu dojde k jeho směřování do káňálu u podlahy vozu (na Obr. 1, 2 červeně). Ty jej rozvádí podél vozu na obě jeho strany do jednotlivých kupé. V kupé je teplý vzduch kromě přímého ofuku cestujících také přiváděn pod okno, které rovněž ofukuje. Pokud je požadován vzduch chladný, tedy klimatizovaný, je pro příjemnější pocit cestujících vzduch foukán do kupé seshora. Rozvod je také řešen ve vrchní části vozu. Propojení tohoto kanálu s agregátem klimatizace je spojen kanálem umístěným mezi přepážkami kupé.

Opotřebený vzduch je vysáván ven přes dvě uzavíratelné mřížky umístěné v místě toalety. V prostoru uzavíratelné mřížky se také nachází klapka regulující množství recirkulovatelného vzduchu. Ten je nasáván do agregátu opět přes prostor nasávací mřížky klimatizace. V přílohách E až G jsou k dispozici fotografie vybraných prvků.



Obr. 1: Rozvod vzduchu v plně klimatizovaném voze Bmz [11]



Obr. 2: Řez kupé s naznačeným umístěním prvků systému [11]

3 Tlakové vlny

Vzduch je hmotný, a proto má při pohybu kinetickou energii. Ta je dána součinem jeho dynamického tlaku a objemu:

$$E_K = p_d \cdot V \quad [\text{J}] \quad (1)$$

p_d ...dynamický tlak [Pa]

V ...objem [m³]

Dynamický tlak je úměrný druhé mocnině rychlosti pohybu:

$$p_d = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \quad [\text{kg/m}^3] \quad (2)$$

ρ ...měrná hmotnost vzduchu (za normálních podmínek přibližně 1,225 kg/m³) [kg/m³]

v ...rychlost proudění [m/s]

Podle Bernoulliho principu se při poklesu rychlosti proudění mění dynamický tlak na statický a ten vyvoluje silové účinky. Hodnoty dynamického tlaku proudícího vzduchu jsou značné:

Tab. 1:Příklad hodnot dyn. tlaku při různých rychlostech

v (km/h)	100	200	300
p_d (kPa)	0,47	1,89	4,25

Vítr o rychlosti 100 km/h je podle stupnice sestavné v roce 1805 anglickým admirálem Francisem Beufortem hodnocen jako silná vichřice – láme stromy, poškozuje budovy a je schopen povalit člověka na zem. U vlaků jedoucích rychlostí 300km/h je ve srovnání s tím rychlost proudění třikrát vyšší. Tlak vzduchu působí na jedoucí vozidlo a způsobuje jeho aerodynamický odpor:

$$F_a = C_x \cdot S \cdot p_d = C_x \cdot S \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \quad (3)$$

F_a ...aerodynamická složka jízdního odporu [N]

C_x ...tvarová konstanta vozidla v podélném směru [-]

S ... čelní plocha vozidla (zhruba 10 m² u vozidla normálního rozchodu a evropského obrysu) [m²]

Proudění vzduchu způsobené vozidlem, svými účinky ovlivňuje okolí vozidla. Například osoby a předměty na nástupišti, blízkosti tratě, v kolejišti a vozidla na souběžných kolejích. Jedná se především o čelní a boční tlakovou vlnu, kterou vytváří okolní vzduch při průjezdu vlaku. Velikost tlakové vlny závisí na druhé mocnině jízdy vlaku a na konstantě, která je daná tvarem vozidla a vzdáleností sledovaného místa od osy koleje:

$$\Delta_p = \Delta C_p \cdot 0,5 \rho \cdot v^2 \quad [-] \quad (4)$$

Δ_p ...rozdíl amplitud tlakové vlny [-]

ΔC_p ... konstanta tlakové vlny [1]

Poměr indukované rychlosti proudění vzduchu a rychlosti jízdy vozidla závisí na tvaru vozidla a na vzdálenosti sledovaného místa od osy koleje. Krajiní hodnoty amplitudy a rychlosti proudění vzduchu, jež smějí rychle jedoucí vozidla způsobit, určují normy TSI HS RST („Kolejová vozidla“ transevropského vysokorychlostního železničního systému). Toto tvrzení si můžeme ukázat na příkladu:

Povolené hodnoty proudění vzduchu na nástupišti, po průjezdu vlaku rychlostí 200 km/h, ve vzdálenosti 3 m od osy koleje, jsou 15,5 m/s.

Dále poměr amplitud nesmí být větší než 0,795 kPa za předpokladu, že vlak při rychlosti 250 km/h se pohybuje po ose koleje vzdálené 2,5 m od pozorovaného místa. Aby byly splněny tyto požadavky, musí vozidlo odpovídat následujícím požadavkům získaných z dlouhodobých průzkumů, a to:

- náležitě protáhlý tvar předního a zadního čela,
- hladký povrch, tzn. bez vyčnívajících či zapuštěných částí.

Tyto kritéria vedou nejen k aerodynamickému tvaru, tedy menším jízdním odporům, ale také k minimalizaci tlakových vlivů na okolí. [2]

3.1 Tlakové vlny v tunelu

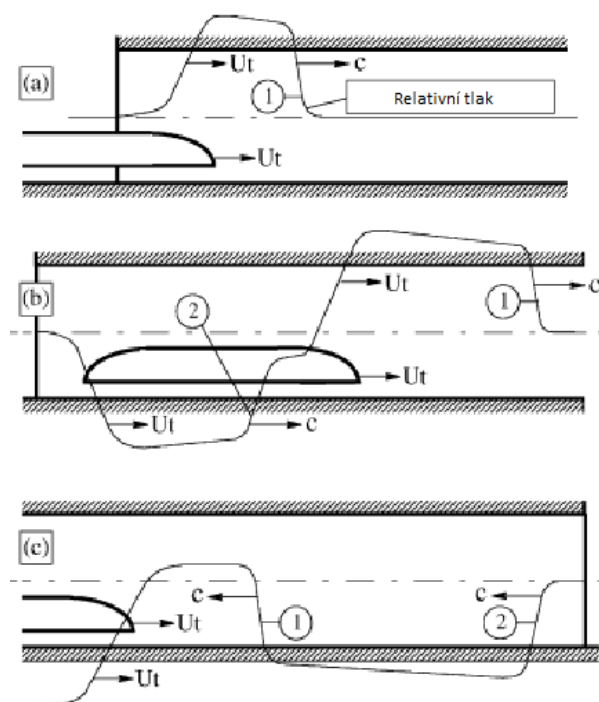
Tlakové vlny se otevřenou krajinou šíří do stran a tedy i velmi rychle ztrácí na intenzitě. V tunelu tato možnost do značené míry odpadá (existují konstrukční řešení tunelů, které se snaží o minimalizaci těchto nedostatků), a tedy se intenzita vln snižuje velmi pomalu. Proto se tunely pro VRT (VRT = vysoko rychlostní tratě) vyznačují větším průřezem, také vozidla a zbylé zařízení musí být konstruováno s ohledem na tyto tlakové vlny. Dle normy TSI HS RST může vozidlo jedoucí rychlostí 250 km/h při průjezdu tunelem o průřezu 63 m^3 vyvolat amplitudu tlakové vlny až 3 kPa. Tato vlna se poté pohybuje rychlostí zvuku, tedy zhruba 1240 km/h.

Přetlaková vlna vytvořena čelem vozidla běží k portálu na konci tunelu. Od tohoto portálu se odrazí a míří k portálu umístěnému na druhém konci tunelu, ovšem tentokrát jako vlna podtlaková, samozřejmě po cestě se střetne s vlakem, jenž tuto vlnu vyvolal a jede této vlně vstříc. Stejná vlna se poté odrazí od vstupního portálu a opět se mění na vlnu přetlakovou, která zase namáhá konstrukci vozu. Tento jev se neustále opakuje. Tyto vlny se mohou při průchodu tunelem tam a zpět setkat s vlakem i několikrát.

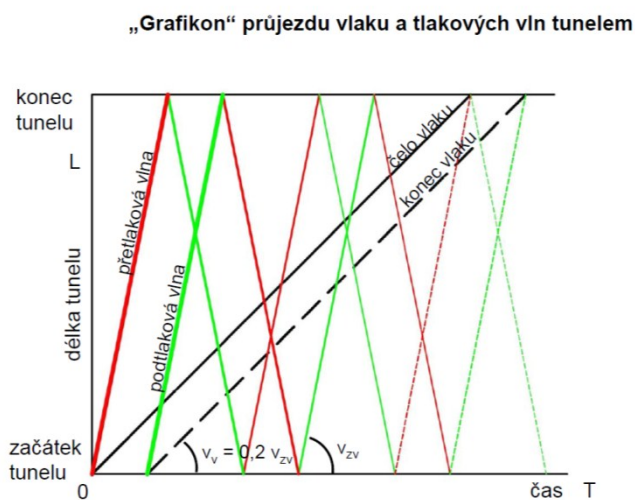
Tento jev se objevuje také při vjezdu konce vlaku do tunelu. Ten při vjezdu vyvolá podtlakovou vlnu, která míří směrem ke konci tunelu. I tato vlna kmitá mezi oběma portály tunelu, a mění se z podtlakové na přetlakovou a naopak.

Tato skutečnost zapříčiní střídavé namáhání skříně vozů, které se nacházejí uvnitř tunelu. Amplituda vln se však postupně utlumuje. Při průchodu tlakové vlny portálem, tedy v okamžiku kdy vlak vyjíždí z tunelu, dochází k přeměně tlakové energie na akustický třesk. Ten se stává problémem v případě, kdy se tunel nachází v obydlené oblasti, kde tento akustický třesk může značně narušovat povolené hlukové limity stanovené zákonem.

Většina kolejových tunelů na našem území jsou projektovány a budovány jako jednotubusové. Tedy je více kolejí vedeno v jednom tunelu. To má za následek ještě výraznější tlakové rázy. Ty jsou důsledkem míjení vlaků ve vícekolejných jednotubusových tunelech. Vážným problémem pak nastává míjení vysokorychlostních a konvenčních vlaků, ke kterému dochází v případech, kdy není vybudována VTR. [2]



Obr. 3: Tlakové vlny generované vstupem vlaku do tunelu a jejich odraz otevřeném tunelu [2]



Obr. 4, Grafikon průjezdu vlaku tunelem [1]

Grafické znázornění průjezdu vlaku tunelem s vyznačeným pohybem tlakových vln, které projíždějící vlak vyvolává.

v ...rychlost vlaku [km/hod.]

v_{zv} ...rychlost zvuku (Machovo číslo

$Ma = v/v_{zv} = 0,2$) [km/hod.]

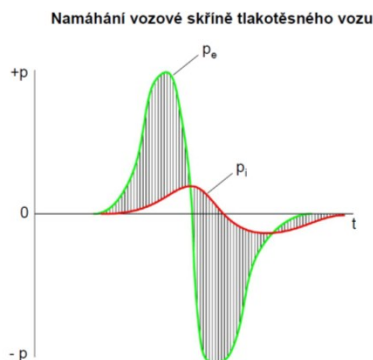
Přetlakové vlny jsou znázorněny červeně, podtlakové zeleně.

3.2 Tlakopevnost

Tlakotěsná vozidla zvyšují komfort cestování a pro rychlost 200 km/h je tento typ konstrukce vozu nutností. Utěsnění vozu přináší vážné dopady na konstrukci vozidel. Důležité je utěsnění veškerých otvorů v hrubé stavbě vozu. Tedy oken, dveří, průchodů mezi vozy, veškerých kabelů a potrubí procházejících skrz skříň, i odpadního potrubí, popřípadě použití jímky. Toto řešení přináší i vedlejší přínos a to zvukovou izolaci a tedy další zvýšení komfortu cestování.

Hlavním neduhem tlakového utěsnění vozu je nutnost zvýšit tuhost celé konstrukce. A to z důvodu zamezení vyrovnání tlaku uvnitř a vně vozu. Pokud tedy uvažujeme podtlak 7 kPa, jenž vzniká při míjení vlaků, a bočnici vozu o ploše 70 m², působí na ní síla 500 kN, tedy silou, jež odpovídá tíze vozu.

Proto musí být vůz nejen tlakotěsný, ale také tlakopevný, aby toto silné namáhání vydržela. Tedy má být zajištěna dostatečná tuhost. Zvýše uvedených informací lze vyvodit, že namáhání nebude statické, ale dynamické povahy. Nejen hrubá stavba musí být dostatečně dimenzována, síly působí samozřejmě i na zbylé vnější části vozu, tedy i okna a dveře. Je nutné okna patřičně zajistit proti vypadnutí, a dveře zajistit proti otevření či pootevření.[2]



Obr. 4: Namáhání vozové skříň tlakovým rázem [5]

Zatímco vně vozu působí prudce se měnící tlakové vlny, zůstává tlak uvnitř vozu prakticky beze změn. Svisle šrafovaný rozdíl vnějšího tlaku (p_e – zelená křivka) a vnitřního tlaku (p_i – červená křivka) však namáhá vozovou skříň, okna i dveře.

3.3 Tlakový komfort

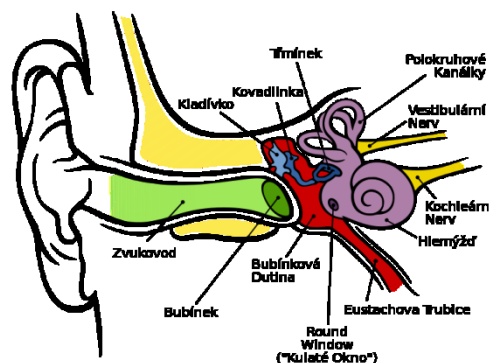
Lidské tělo je schopno přizpůsobit se poměrně velkému rozsahu tlaku vzduchu. Však velký problém mu působí rychlé změny tlaku. Rychlé změny vedou k nepříjemnému pocitu v uších. To je zapříčiněno rozdílným tlakem uvnitř a vně bubínku. Naše těla potřebují určitý čas k vyrovnání rozdílných tlaků. Střídání přetlakových a podtlakových vln, které jsou nedílnou součástí rychle jedoucích vozidel, způsobuje strmější charakteristiku změny tlaku, než je lidské ucho schopno vstřebat.

Nepříjemné zaléhání v uších lze odstranit konstrukčním řešením vozidla. Navrhnout vůz jako tlakotěsný. Skříň těchto vozů je řešena jako utěsněný celek, uchovává si stálý tlak uvnitř vozu. Cestující v těchto vozech nejsou vystaveni prudkým změnám tlaku a tak tedy ani nepocítují žádné jejich účinky. Ve standardních vozech mohou lidé pociťovat důsledky změn tlaku při rychlosti jízdy vlaku 160 km/hod. Pocit zaléhání v uších mohou lidé pociťovat také při cestování na českých koridorech.

Termín tlakový komfort vykládají různé normy odlišně, tedy není žádné pevně stanovené pravidlo. Ve většině případů bývá udávána maximální povolená rychlost změny tlaku. Například 0,5 kPa za 1 sekundu a 1 kPa za 10 sekund. Dle normy EN 14 067-5 je pro tlakotěsné vozy uvedena informativní mezní hodnota 1 kPa za 1 sekundu a 2 kPa za 10 sekund. Však pokud chce dopravce poskytnout cestujícím ničím nerušenou jízdu, jsou požadovány i přísnější hodnoty, jako 0,1 kPa za 1 sekundu.[1]

3.4 Vliv změny tlaku na lidský organismus

Člověk zaznamenává změnu tlaku pomocí mechanoreceptorů. Mechanoreceptorů existuje mnoho druhů. Tlak je vnímán pomocí čidel a tělísek v kůži. Dalším tlakovým mechanoreceptorem je také sluchové ústrojí, jež vnímá změny tlaku vyvolané zvukovými vlnami. U savců tento orgán představuje blanitý hlemýžď, konkrétně Cortiho orgán



nacházející se uvnitř hlemýždě. Obr. 6: Vnitřní stavba ucha [9]

Nejdůležitější částí Cortiho orgánu jsou vláskové buňky neboli sluchové receptory. V nichž dochází k převodu mechanické energie zvukových vln na elektrický signál, ten je předáván transmembrami na vlákna sluchového nervu.

Při změně okolního tlaku může dojít k tzv. zalehnutí v uších. To je důsledkem nevyrovnaných tlaků mezi středoušní dutinou a okolní atmosférou. Na bubínek pak působí tlak z jedné, či druhé strany. Člověk poté pociťuje nepříjemné tlumení, označované jako zalehnutí v uších. Tlak se v organismu vyrovnává pomocí Eustachovy trubice. Ta spojuje středoušní dutinu s nosohltanem prostřednictvím nosu s okolní atmosférou.

Člověk je přizpůsobivý poměrně širokému rozmezí tlaku, organismus však nesnáší prudké změny. Za mezní změny tlaku ve voze, u níž může docházet k nepříjemným pocitům, jsou považovány hodnoty:

- 500 Pa (neboli 0,5% atmosférického tlaku) za 1 s,
- 800 Pa (neboli 0,8% atmosférického tlaku) za 3 s,
- 1000 Pa (neboli 1 % atmosférického tlaku) za 10 s.

Při větších změnách nastávají výše zmíněné problémy, v nejhorších případech může dojít k poškození sluchu protržením ušního bubínku.

Tlaková vlna, působící přibližně tlakem 1 kPa, vyvolá bolest, následně dochází k mechanickému poškození ucha (protrhnutí bubínku) a po krátké době způsobuje hluchotu.[10]

4 Zjištění potřebného objemu vzduchu

Pro zajištění pohodlí a bezpečnosti cestujících je dle normy nutno do kabiny dodávat dostatečné množství čerstvého vzduchu.

Dle normy ČSN EN 13 129-1 musíme do přepravního prostoru plně klimatizovaného vozu dodávat toto množství vzduchu na jedno sedadlo, nebo lůžko v závislosti na venkovní teplotě:

Tab. 2: Množství vzduchu nutné k přivedení do vozu v závislosti na teplotě [2]

Venkovní teplota t_e v °C	Minimální průtok vzduchu v m^3/hod na jedno místo k sezení
Pod -20	10
-20 až -5	15
-5 až +26	20
Nad +26	15

Z tabulky vyplývá, že největší požadované průtočné množství vzduchu je $20 m^3/hod$. Proto byla tato maximální hodnota zvolena pro výpočet bez ohledu na provozní venkovní teplotu.

Ze zjištěného potřebného množství vzduchu pro jednoho pasažéra můžeme podle zvoleného vozu Ampz, který má počet míst k sezení 58, vypočítat potřebný průtok vzduchu přes mřížku klimatizace. Musíme však brát na vědomí možnost více cestujících, než je počet sedadel.

$$Q_{tab} = i_c \cdot Q_p = 58 \cdot 20 = 1160 \cong 1200 \quad \left[\frac{m^3}{hod.}\right] \quad (7)$$

i_c ...počet sedadel nebo lůžek [-]

Q_p ...množství čerstvého vzduchu na jedno sedadlo [$m^3/hod.$]

Hodnota Q_{tab} je hodnotou zjištěnou dle tabulek, reálného počtu sedadel a venkovní teploty. K této hodnotě je nutno dále připočítat množství vzduchu pro toalety. V dalších výpočtech je však počítáno s hodnotou Q , která byla určena v zadání. Lze jí zdůvodnit

větším obsazením vozidla než je počet míst k sezení, což není neobvyklým jevem i na našich tratích.

Výpočet minimálního protočeného průřezu

Pro výpočet použijeme hodnotu Q a také rychlost v , které byla stanovena v zadání.

$$v = 3,5 \frac{m}{s} = 12600 \frac{m}{hod.} \quad (8)$$

$$S = \frac{Q}{v} \quad [m^2] \quad (9)$$

Q ...objemové množství vzduchu $[m^3]$

v ... rychlost vzduchu $[m/s]$

$$S = \frac{2000}{12600} = 0,1587 = 0,16 m^2$$

Rozměry jednotlivých typů otvorů uzavíratelné mřížky

Při použití lamelového systému jsem zvolil šířku lamely $h_l = 2$ cm a to z důvodu kratší dráhy a tedy větší rychlosti uzavření klimatizačního systému. Délka lamel byla zvolena $L_l = 360$ mm.

Počet lamel si určíme ze vztahu:

$$i = \frac{S}{L_l \cdot h_l} \quad [-] \quad (10)$$

$$i = \frac{0,16}{0,36 \cdot 0,02} = 22,22$$

Nabízí se i možnost použití horizontálních lamel. V tomto systému jsem volil větší šířku lamel a to $h = 50$ mm. Při šířce otvoru 400 mm bude počet lamel 4. Celková délka lamel L poté bude dána vztahem:

$$L = \frac{S}{i \cdot h} \quad [m] \quad (11)$$

$$L = \frac{0,16}{4 \cdot 0,05} = 0,8$$

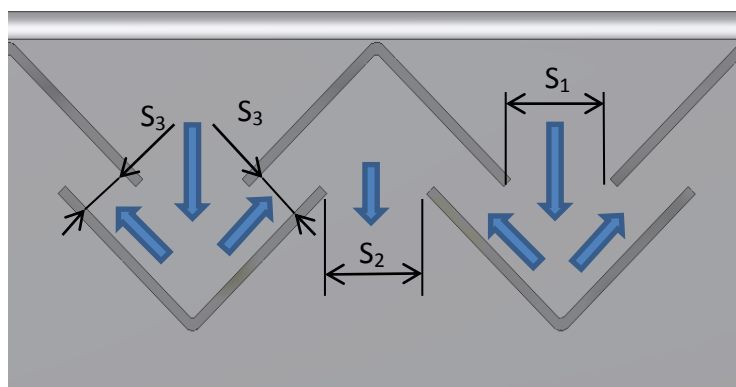
V systému tří kruhových otvorů je nutno pouze určit průměr. V potaz také musíme vzít, že pro průchod vzduchu není používán celý povrch kruhu, ale jen jeho úhlová výseč. V tomto případě polovina kruhu, tedy $S/2$. Dále je také počítáno s použitím tří otvorů, proto je plocha také rozdělena na třetiny.

$$\frac{S \cdot 2}{3} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [\text{m}] \quad (12)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S \cdot 2}{3 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,16 \cdot 2}{3 \cdot \pi}} = 0,369 \quad [\text{m}]$$

Průřezy vnější ochranné mříže

Pro ochranu mříž platím stejné parametry. V tomto případě je však dosáhnout požadovaných průřezů ve všech místech mříže. Zde nastává konflikt s požadavkem na minimální rozměr. Je tedy nutno navrhnout takový tvar labyrintu, aby splnil požadavek minimálního průřezu i ostatní požadavky na něj kladené.



Obr. 7: Řez labyrintem s naznačením průtočných ploch

Platí tedy následující vztahy:

$$\sum S_1 \geq S$$

Součet všech průřezů S_1 musí být roven, nebo větší, než průřez S , tedy průřez vypočtený pro minimální potřebné množství vzduchu dodávaného do vozu.

$$\sum S_2 \geq S$$

$$\sum S_3 \geq S$$

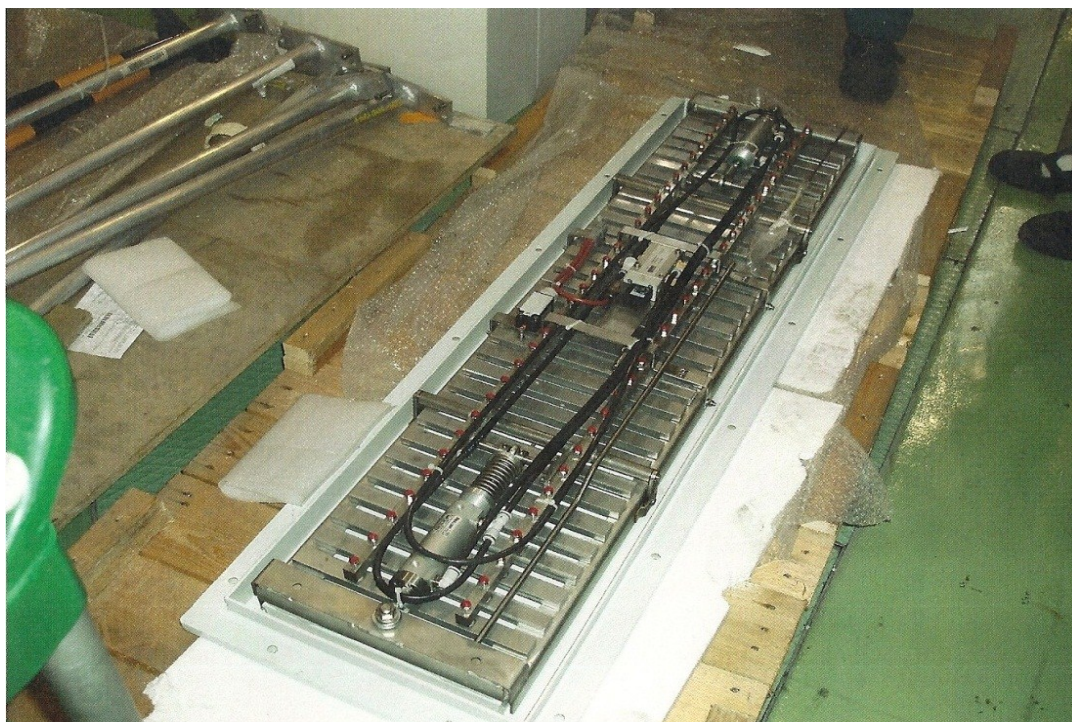
Stejná podmínka jako pro průřez S_1 platí také pro průřezy S_2 a S_3 .

5 Stávající řešení

V současné době se používají zejména dva způsoby uzavření systému klimatizace. A to uzavření pomocí mřížky, jež je umístěna přímo na vstupu a výstupu klimatizace, nebo klapkou umístěnou až dále v potrubí. Dále jde tyto dvě kategorie dělit podle použitých otvorů a pohonů.

Uzavíracím prvkem je ochranná mříž, tento prvek doznává vícero tvarových možností a uspořádání, lze jej rozdělit na vertikální a horizontální uložení ochranných prvků.

Na Obr. 8 lze vidět stávající uzavíratelnou klapku klimatizace vozu Bmz/Ampz. Klapku tvoří dva svařence. Svařence se po sobě pohybují vodorovně s třením kov-kov. Pohyb zajišťují dva pneumatické válce. Ke klapce je také připevněna ochranná mříž (na obrázku pod mříží).



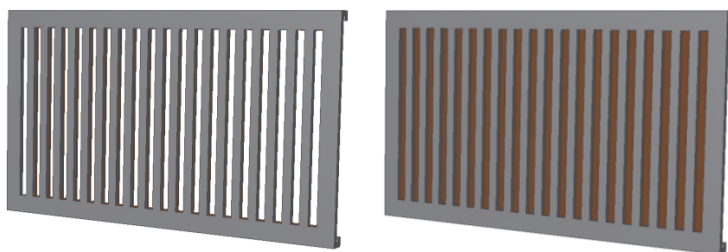
Obr. 8: Stávající uzavíratelná klapka sání klimatizace [11]

6 Možné druhy řešení

6.1 Řešení uzavíratelné mřížky

Systém vertikální lamel

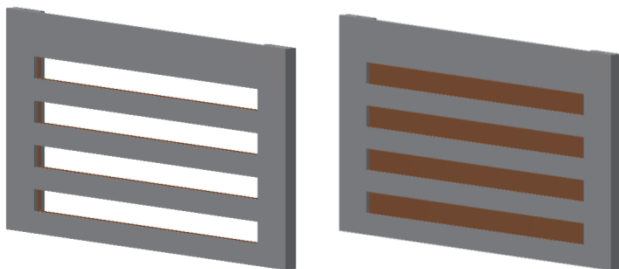
Jedná se o konstrukci dvou lamelových roštů. Zadní rošt se pohybuje vůči přednímu. Posuvný pohyb je vždy jen o délku jedné lamely a to tak, aby při uzavření došlo k přesnému překrytí mezer v prvním roštu. Pohon tak nepotřebuje překonávat velké vzdálenosti mezi polohou otevřeno a uzavřeno, a proto může být uzavření klimatizačního systému poměrně rychlé, a tak dobře reagovat na změnu tlaku. Při menším zdvihu je však nutno vytvořit více lamel, a tak při otevřené poloze vznikají větší tlakové ztráty.



Obr. 9: Izometrický pohled na otevřenou a uzavřenou mřížku

Systém horizontálních lamel

Tento způsob je obdobou předchozího řešení, však s jiným prostorovým uspořádáním lamel. V tomto modelu byla zvolena větší rozteč lamel. U tohoto systému zajišťuje tíha lamel otevřenou polohu i v případě poruchy pohonné jednotky. V klidovém stavu, tedy otevřené poloze, jsou lamely ve spodní poloze. Při uzavírání musí pohon překonat navíc váhu roštu, tedy i rychlost zavírání bude nižší než u vertikálního uložení lamel, při zachování stejné šířky lamel. Další přednosti i nedostatky jsou shodné.

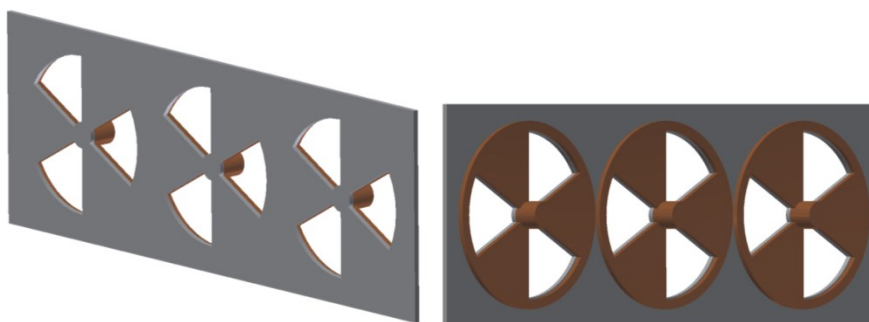


Obr. 10: Izometrický pohled na otevřenou a uzavřenou mřížku

Systém kulatých otvorů

Při použití kulatých otvorů může být voleno mezi více možnostmi uzavírání otvorů. Nejrychlejší zamezení vniku rázové vlny však bude pomocí rotačního pohybu vnitřní desky. V tomto způsobu je vhodné použít kruhové výseče. Opět platí stejné pravidlo jako u lamelových roštů, čím širší je mezera pro proudění vzduchu, tím delší je čas potřebný pro její uzavření. Naopak při otevřené poloze jsou menší tlakové ztráty způsobené větší délkou hrany otvorů. Proto je nutné najít optimální počet výsečí.

I u kulatých otvorů je možno použít přímočarých motorů k uzavření mřížky.



Obr. 11: Izometrické pohledy na uzavřenou a otevřenou polohu klapky

Klapka uvnitř systému

Dále je kromě vnějších uzavíracích prvků i možnost použít uzavírání uvnitř systému klimatizace. Tento systém je většinou umístěn v potrubí za nasávacím otvorem. Jeho umístění však není vhodné hned z několika důvodů. Tlakový ráz již vnikne do klimatizačního potrubí, a proto jej může poškodit, nebo musíme potrubí dimenzovat na tento ráz. V případě poruchy mřížky je zde mnohem horší přístupnost než k bočnici vozidla.

6.2 Pohon uzavírání mřížky

Jako pohon uzavírání mřížky se nabízejí dva způsoby, a to pneumatický a elektromagnetický. Další možnosti, jako hydraulický nebo čistě elektrický pohon, jsou buďto příliš složité, nebo pomalé. Hydraulický systém by vyžadoval celou hydraulickou soustavu, protože ve voze není hydraulický rozvod k dispozici. Elektrická energie by pro elektrický pohon k dispozici byla, ale celý pohon je pomalejší než ostatní varianty.

Elektromagnetický Pohon

Výhody:

- snadný přívod energie,
- rozvod je již součástí vozu,
- rychlost uzavírání,

Nevýhody:

- kvůli použití elektrického proudu musí být pohon řešen jako voděodolný.

Pneumatický pohon

Výhody:

- rychlost uzavírání,
- tlakový rozvod je již ve voze řešen,
- pneumatický rozvod a motor jsou díky jednoduchosti méně náchylné na poruchy.

Nevýhody:

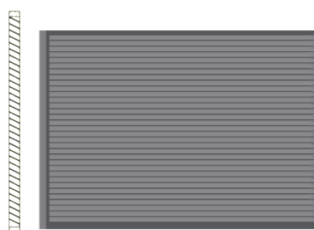
- žádné.

6.3 Vnější ochranná mříž

Ochranná mříž slouží pro zamezení vnikání vody a cizích těles do klimatizačního systému. Mříž musí propouštět dostatečné množství vzduchu.

Horizontální mříž

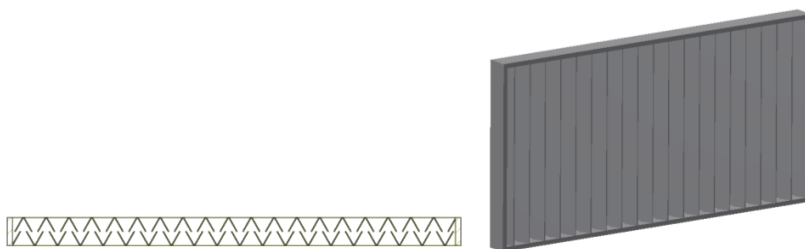
Jednoduší typ mříže. Díky širší rozteči a absenci labirintu nabízí větší průtočné množství vzduchu. Nevýhodou mříže může být proudění vzduchu a tedy i unášené vody při vyšších rychlostech. Kapičky vody mohou díky rychlosti proudění vzduchu stoupat po lamelách směrem vzhůru, a tak se dostanou až za mříž. Kvůli této nevýhodě je tato mříž spíše vhodná pro nižší maximální rychlosti. Tedy spíše pro regionální a příměstskou dopravu.



Obr. 12: Horizontální mříž

Vertikální mříž

Tento složitější typ mříže poskytuje lepší ochranu před vnikáním kapek vody do klimatizace z důvodu použití labyrintu. Pokud se voda dostane na vnější mřížku, tlak vzduchu ji nažene na vnitřní mřížku, po které steče ven z mříže. Nevýhodou je mnohem menší propustnost vzduchu, tedy pro dosažení stejného průtočného množství je zapotřebí větší plocha mříže. Díky složitější a lepší ochraně proti vniknutí vody je tato volba příznivější pro vyšší dosahované rychlosti a tedy vlaky pro dálkovou dopravu.



Obr. 13: Řez přes labyrint mříže

Obr. 14: Izometrický pohled na vertikální mříž

7 Výběr nejlepší varianty

Tab. 3: Výhody a nevýhody jednotlivých řešení uzavírání

	Výhody	Nevýhody
Vertikální lamely	<ul style="list-style-type: none"> - Rychlé uzavření systému, - při použití užších mezer krátký zdvih pohonu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Při použití úzkých mezer bude při otevřené poloze docházet k tlakovým ztrátám, - při větší šířce mezer delší zavírací čas, - stabilizace polohy musí být provedena dodatečným zařízením např. pružinou.
Horizontální lamely	<ul style="list-style-type: none"> - Stabilizace otevřené polohy pomocí tíhy roštu, - nouzové permanentní otevření při poruše. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pohon musí při uzavírání překonávat i tíhu roštu, musí být použit výkonnější pohon, nebo dosahujeme delších uzavíracích časů.
Kulaté otvory	<ul style="list-style-type: none"> - Jednodušší uložení otočného elementu. 	<ul style="list-style-type: none"> - Větší síly na uložení otočného elementu, tlak na celou plochu klapky je přenášen do jednoho místa, - zařízení je složitější než lamelový rošt.
Mříž uvnitř systému	<ul style="list-style-type: none"> - Nejspíše žádné. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nevhodné umístění, - nutnost dimenzovat část potrubí na tlakový ráz.

Tab. 4: Výhody a nevýhody jednotlivých řešení pohonu

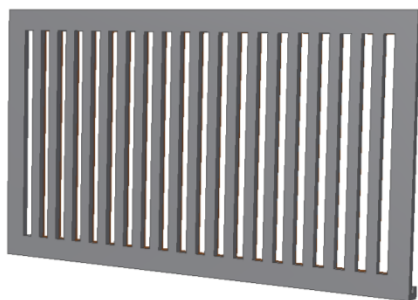
	Výhody	Nevýhody
Elektromagnetický pohon	<ul style="list-style-type: none"> - Snadný přívod energie, - rozvod je již součástí vozu, - rychlost uzavírání. 	<ul style="list-style-type: none"> - Kvůli použití elektrického proudu musí být pohon řešen jako voděodolný.
Pneumatický pohon	<ul style="list-style-type: none"> - Rychlost uzavírání, - tlakový rozvod je již ve voze řešen, - pneumatický rozvod a motor jsou díky jednoduchosti méně náchylné na poruchy. 	<ul style="list-style-type: none"> - Žádné.

Tab. 5: Výhody a nevýhody jednotlivých řešení uložení lamel ochranné mříže

	Výhody	Nevýhody
Horizontální mříž	<ul style="list-style-type: none"> - Jednodušší řešení, - kapičky vody samy vytékají ven z mříže. 	<ul style="list-style-type: none"> - Při vyšších rychlostech se kapičky vody dostanou až za mříž.
Vertikální mříž	<ul style="list-style-type: none"> - Ochrání systém i při vyšších rychlostech. 	<ul style="list-style-type: none"> - Složitější řešení, - menší průtočná plocha, - větší rozměr.

Ze všech výše popsaných možností byl shledán jako nejlepší systém vertikálních lamel s horizontální mříží. U této varianty byla zvolena menší šířka lamel.

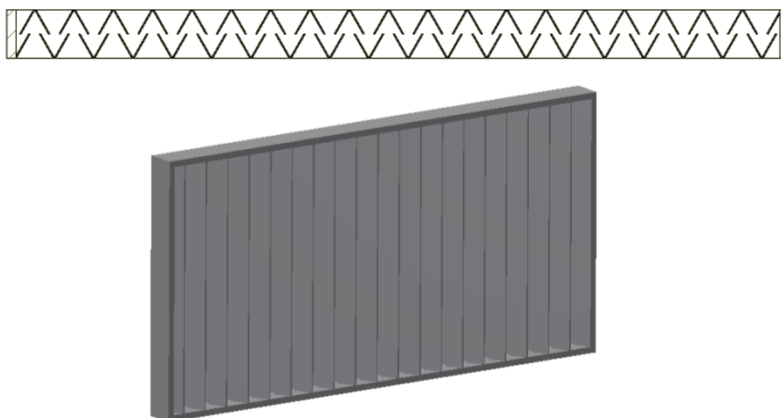
Systém vertikálních lamel je z mého hlediska výhodnější především svojí rychlostí zavírání, která je jednou z nejdůležitějších funkcí mřížky. I konstrukce je jednoduchá, tím se minimalizuje možnost poruchy mřížky. Mřížka jde poměrně jednoduše dimenzovat na potřebnou tuhost a také přítlak potřebný na zatěsnění roštů není nikterak složité vyvodit. Proto je systém s vertikálním uspořádáním správnou volbou.



Obr. 15: Izometrický pohled na otevřenou mřížku

Jako hybná síla uzavírání byl vybrán pneumatický pohon. Jeho největší přednost spočívá v jednoduchém napojení na již stávající tlakový rozvod, který je v každém kolejovém vozidle. Tento pohon bude také dostatečně rychlý, aby pohnul roštem o poměrně malém zdvihu, a tím došlo k uzavření systému klimatizace. Jištění otevřené polohy bude provedeno pomocí pružin.

Při zvážení maximální rychlosti kolejového vozidla, které je dáno v zadání, a to 200 km/h, byla vybrána mříž s vertikálními prvky a labyrintem. A to z důvodů větší účinnosti labyrintu při zamezení vnikání vody do systému i při vyšších rychlostech. Důležitým konstrukčním problémem, jenž bude nutné vyřešit, je zajištění dostatečného průřezu proudění určeného objemového množství vzduchu.



Obr. 16: Izometrický pohled na vertikální ochrannou mříž

Požadavkový list pro uzavíratelnou mřížku

Tab. 6: Požadavkový list pro uzavíratelnou mřížku

Požadavek	Podm./Přání
Rychle uzavření mříže (v desetínách sekundy)	podmínka
Odolávat tlakovému rázu	podmínka
Utěsnění	podmínka
Dokonalé utěsnění	přání
Dostatečné průtočné průřezy	podmínka
Zajištění otevřené polohy v případě poruchy	podmínka
Bezúdržbové	přání
Nízké výrobní náklady	přání
Snadná přístupnost	přání
Nízká hmotnost	podmínka
Přijatelné rozměry	přání
Využití stávajících energetických rozvodů	přání
Minimalizace tření při pohybu	přání

Požadavkový list pro vnější ochrannou mříž

Tab. 7: Požadavkový list pro ochrannou mříž

Požadavek	Podm./Přání
Dostatečné průtočné průřezy	podmínka
Odolávat tlakovému rázu	podmínka
Zamezit vnikání cizích těles	podmínka
Zamezit vnikání kapalin za mříž (déšť, mytí)	podmínka
Zajistit odvod zachycené vody	přání
Přijatelné rozměry	podmínka
Nízká hmotnost	přání
Nízké výrobní náklady	přání
Snadná montáž/demontáž z vozu	přání

Morfologická matice uzavíratelné mřížky

Tab. 8: Morfologická matice pro uzavíratelnou mřížku

Dílčí funkce	Orgány nositele funkcí				
	1	2	3	4	5
Dostatečný průtok UMOŽNIT	Rozměry otvoru				
Rychle uzavření ZAJISTIT	Tření kov-kov	Valivé ložisko	Třecí ložisko		
Uzavření ZAJISTIT	Pneumaticky	Hydraulicky	Elektricky	Elektromagneticky	
Otevření ZAJISTIT	Dvojčinný píst	Pružina			
Těsnost ZAJISTIT	Přítlačení	Těsněním	Tvarově		

Morfologická matice ochranné mříže

Tab. 9: Morfologická matice pro ochrannou mříž

Dílčí funkce	Orgány nositele funkcí				
	1	2	3	4	5
Dostatečný průtok UMOŽNIT	Rozměry otvoru				
Zamezení průniku vody ZAJISTIT	Horizontální lamely	Vertikální lamely			
		Dva 90° profily	Dva U profily	90° a U profil	
Odtok vody UMOŽNIT	Skloněná rovina	Odtokový kanál			
Montáž UMOŽNIT	Šrouby	Tvarové spojení			
Uchycení mřížky do vozu ZAJISTIT	Šrouby	Čepy	Tvarové spojení		

8 Vnější ochranná mříž

Vnější ochranná mříž slouží k několika účelům. Základním požadavkem je propustnost mříže pro dostatečné množství vzduchu, které je určeno normou a počtem míst v klimatizovaném vozidle. Velmi důležitým prvkem je ochrana klimatizační sítě před vodou vnikající z okolního prostředí, nejběžnějším příkladem je ochrana před deštěm, zejména pak při vyšší rychlosti vlaku. Popřípadě před vodou při čištění vnější části vozu. Ochranná mříž však samozřejmě nedokáže zachytit veškerou vodu. Voda, která projde do systému klimatizace je z nasávaného vzduchu odstraňována ve výparníku, kde se kondenzovaná voda odvádí pryč ze sítě klimatizace.

Další úkolem mříže je zabránit vnikání cizích předmětů, například listů, do potrubí klimatizace, kde by mohlo dojít k zanášení. V případě větších předmětů by mohlo dojít k poškození některých částí klimatizace. Třeba uzavíratelné mřížky, nebo klapky určující mísící poměr recyklovaného a čerstvého vzduchu.

Z výše uvedených úkolů, vyplívají nároky na konstrukci vnější ochranné mříže. První podmínku, zamezení vnikání vody, lze docílit i jednoduchými lamelami, jež budou umístěny horizontálně a sklopeny směrem dolů. U takto uložených lamel bude docházet při vyšších rychlostech vozidla k překonání mříže vodou. Proto je toto uložení vhodné jen při nižších rychlostech vozu, například v příměstské a regionální dopravě. Proto je vhodné lamely umístit vertikálně, dále potom z lamel vytvořit určitý labyrint, k zachycení rychle proudící kapaliny.

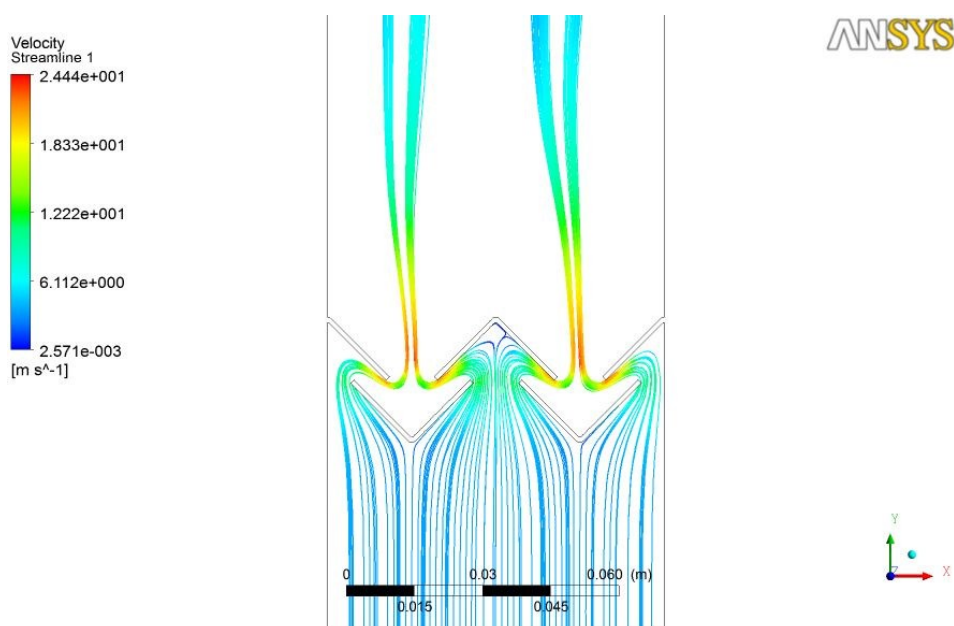
Druhým úkol mříže lze vyřešit zmenšeným průřezem jednotlivých mezer mezi lamelami. Mříž však musí splňovat základní požadavek a propustit dostatečné množství vzduchu. Proto při řešení tohoto úkolu dochází k navýšení celkových rozměrů mříže. Což může být problém spočívající v přílišném oslabení skříně vozu. Proto je také vhodné správně zvolit umístění mřížky na bočnici hrubé stavby. Pokud to konstrukce vozu dovoluje, je sání i výfuk klimatizace umístěn až pod podlahou, na boční straně, nebo naopak na střeše vozu, kde nenarušuje celistvost a tedy i pevnost hrubé stavby. Jestliže konstrukce vozu toto umístění nedovoluje, je nutné otvor pro mříž umístit mimo jiné větší otvory, například okenní nebo dveřní prostory.

8.1 Rychlost proudění skrz labyrint

Při průchodu vzduchu labyrintem dochází k jeho víření a urychlení. Proto není vhodné přímo za labyrintovou mřížku umisťovat další klimatizační prvky. Je dobré nechat určitý prostor pro „uklidnění“ proudu vzduchu. Pro zjištění velikosti tohoto prostoru byla vytvořena simulace proudění v programu ANSYS, při použití nastavby CFX.

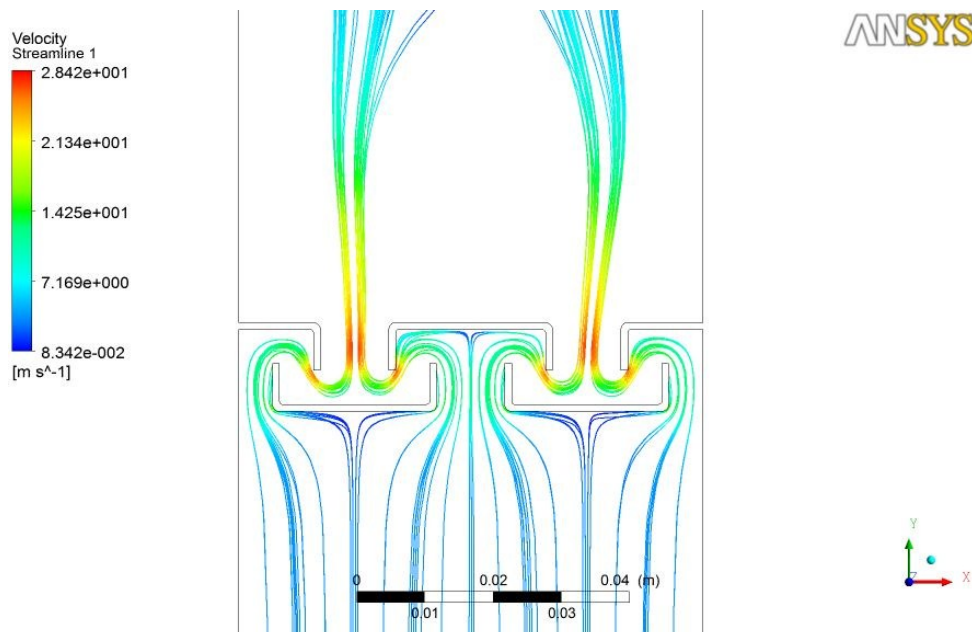
Tato simulace byla vytvořena pro 3 možné variaty. Varianta dvou pravoúhlých profilů, dvou U profilů, a kombinace předchozích dvou. Do výpočtu byl zadán parametr daný zadáním diplomové práce, tedy rychlost proudění 3,5 m/s na vstupu mřížky. Zbývající veličiny ovlivňující průtok, jako koeficient proudění, byly buď to nechány na možnosti obvyklé, nebo odhadnuty.

Na obrázku č. 17, lze vidět simulaci pro proudění skrz mřížku tvořenou dvěma pravoúhlými profily. Maximální rychlost proudění byla určena jako 24,4 m/s. Následuje však uklidnění, a to do vzdálenosti přibližně 0,04 m za mřížku. Uklidnění na hodnotu okolo 12 m/s však dochází již ve vzdálenosti kolem 0,017 m.



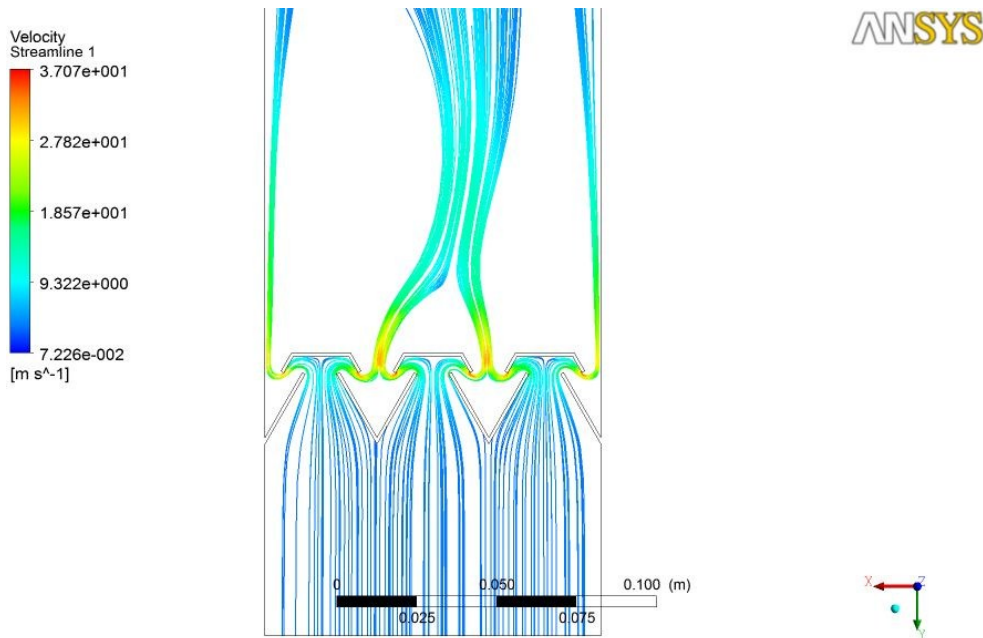
Obr. 17: Analýza proudění skrz labyrint tvořený dvěma pravoúhlými

Na obrázku č. 18, je simulace proudění přes dva U profily. Maximální rychlost proudění byla určena jako 28,4 m/s. Uklidnění nastalo ve vzdálenosti přibližně 0,05 m za mřížkou. Uklidnění na hodnotu okolo 12 m/s dochází ve vzdálenosti kolem 0,022 m.



Obr. 18: Analýza proudění skrz labyrint tvořený dvěma U profily

Obrázek č. 19, vystihuje simulaci proudění přes kombinaci U a pravoúhlého profilu. Maximální rychlost proudění byla určena jako 37 m/s. Uklidnění nastalo ve vzdálenosti přibližně 0,035 m za mřížkou. Uklidnění na hodnotu okolo 12 m/s dochází ve vzdálenosti kolem 0,025 m.



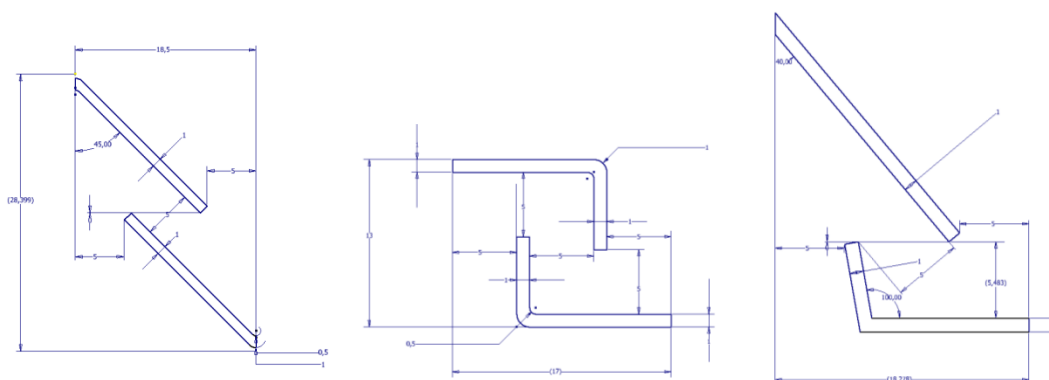
Obr. 19: Analýza proudění skrz labyrint tvořený U a pravoúhlým

Z této analýzy vyplývá, že nejvhodnější druh a kombinace je v ohledu na proudění, uspořádání se dvěma pravoúhlými profily.

Problémem vertikálně uloženého labyrintu spočívá ve správné volbě profilů a jejich vzájemném umístění. Je vhodné, aby mříž nebyla pod žádným úhlem přímo prostupná. Zamezit vniku vody do klimatizace tím, že se zachytí na některé ze stěn mříže. Zároveň toto uložení lamel musí co nejlépe využít místo, tedy minimalizovat plochu ochranné mříže k co nejmenšímu oslabení bočnice vozu. Nejčastěji se používají V profily pod úhlem 90°, nebo U profil, kde jsou strany profilu nakloněny pod větším úhlem než 90°. Je možné také použít kombinaci těchto profilů, k dosažení optimálních rozměrů. Výhodou použití V profilů na vnější straně mříže je možnost vytvoření jednoduchého odtokového otvoru, kdy se V profil na spodní části seřízne pod úhlem 45° o rozměrech 5x5 mm.

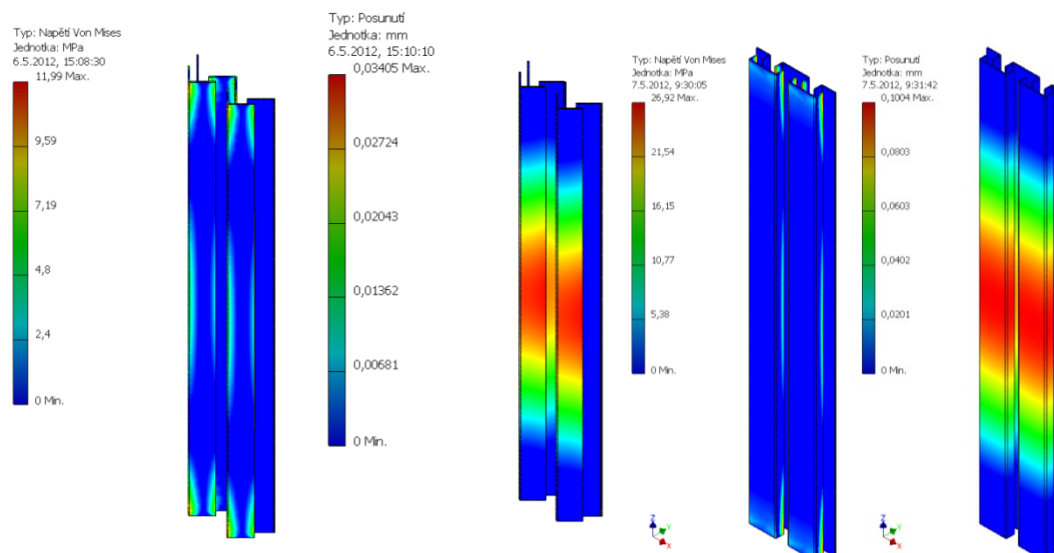
8.2 Tvar a uspořádání labyrintu ochranné mříže

Na následujících obrázcích je možno vidět porovnání rozměrů jednotlivých profilů. Porovnání je možné udělat díky dosažení stejného průtočeného množství vzduchu na jeden pár profilů. Mezera mezi jednotlivými profily je stanovena na 10 mm. Nejmenší výšku řešení zajišťuje řešení s dvěma U profily. Toto řešení také umožňuje nejmenší rozteč profilů při zachování již zmíněné mezery 10 mm.



Obr. 20: Porovnání rozměrů jednotlivých typů labyrintu

Dále byla vytvořena analýza zatížení od tlaku daného zadáním diplomové práce. Tedy 3000 Pa působí na přední plochu lamel. Tento případ nastane při přetlakové tlakové vlně.



Obr. 21: Porovnání analýzy MKP vybraných modelů

Z analýzy vyplývá zjištění, že řešení tvořené dvěma profily ohnutými o 90° má menší maximální napětí i posunutí. Napětí je menší o více než polovinu. Posunutí je zhruba třetinové. U obou profilů vzniká největší napětí na jejich koncích, kde jsou uchyceny swarem do profilu. Je tedy požadavek na svar, aby toto napětí vydržel.

Z tohoto důvodu bylo vybráno řešení s dvěma 90° profily, u kterého také nejlépe vychází analýza proudění.



Obr. 22: Vybraná konečná varianta labyrintu

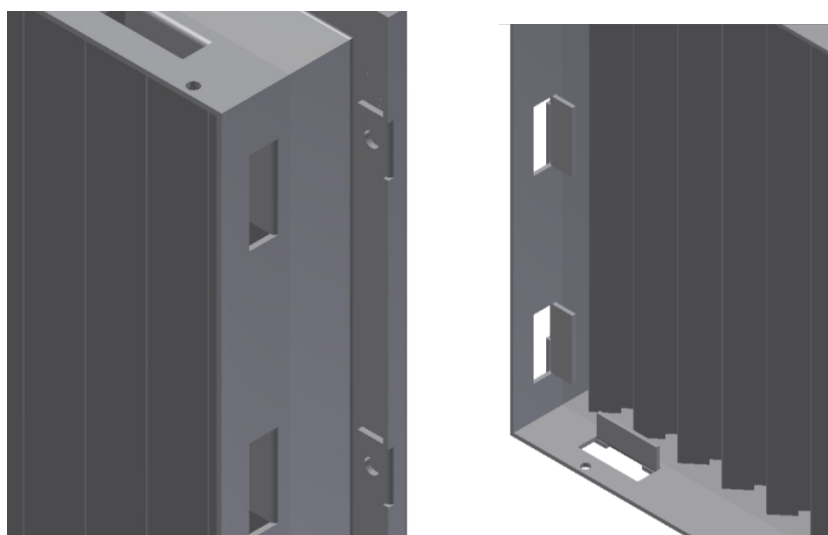
8.3 Profil ochranné mříže

Pro uchycení profilů tvořících labyrint bylo nutné vytvořit profil, který bude zároveň sloužit k připevnění celého celku do hrubé stavby vozu. Tedy k tomuto profilu se uchytí vnitřní uzavírací mřížka, a jako celek bude připevněna do konstrukce vozu.

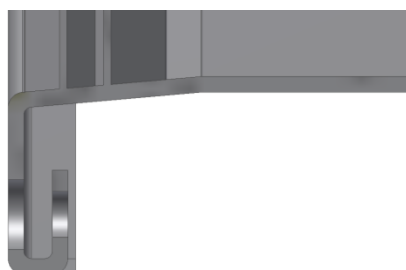


Obr. 23: Profil vnější mříže

Byl vytvořen poměrně jednoduchý ohýbaný profil z plechu o tloušťce 3 mm. Na obrázku č. 24 jsou vidět prostřihy. Prostřihy na kraji profilu na obrázku č. 24 slouží k připevnění celého systému uzavíratelné mřížky k hrubé stavbě. Detail tohoto prostřihu lze vidět také na obrázku. Prostřihy v zadní části profilu slouží k dosednutí uzavíratelné mřížky, aby bylo zajištěno její správné uchycení pomocí šroubového spoje. Profil, je v místě připevnění profilů tvořících labyrint, skloněn pod úhlem 175° vůči vodorovné části. Tento sklon slouží pro snadný odtok vody zachycené v labyrintu.



Obr. 24: Prostřihy v profilu mřížky, vlevo pro připevnění na hrubou stavbu, vpravo pro dosednutí vnitřní mříže



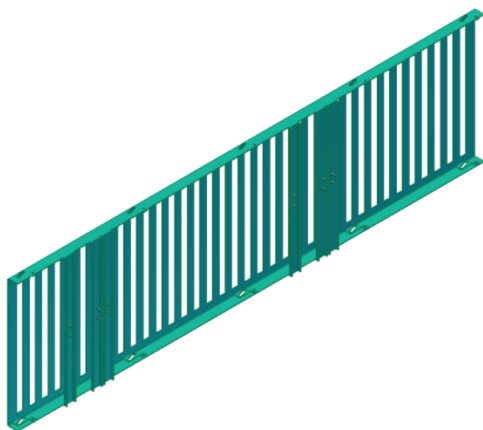
Obr. 25: Analýza proudění skrz labyrint tvořený dvěma U profily

9 Uzavíratelná mřížka klimatizace

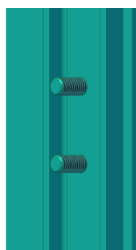
9.1 Popis základních částí mechanismu zavírání

Pevná mříž

Pevná mříž slouží k uložení pohyblivé mříže, se kterou tvoří při uzavření nepropustný celek. Rám konstrukce tvoří ohýbaný plech tloušťky 2 mm z materiálu S235JRG1 dle značení EU (ČSN 11 373.0). Do tohoto rámu jsou vypáleny otvory pro prostup vzduchu o šířce 20 mm a výšce 360 mm. Pro připevnění pístu jsou na plech přivařeny U profily o tloušťce 3 mm. Na U profily jsou přivařeny pomocí technologie hrotového navařování závitové čepy. Pro snadnější uchycení pevné mříže do konstrukce ochranné mříže slouží návar, přes který je vedena díra se závitem. Jinou, lepší možností uchycení je použití nýtovací matice viz. Obr. 29. Použity jsou matice se zapuštěnou hlavou. Dále je zde návar v místech s drážkou pro pohyb vnitřní mřížky. Tento návar slouží ke zvětšení stykové plochy ložiska s mříží. Oba návary jsou také v tloušťce 2 mm.



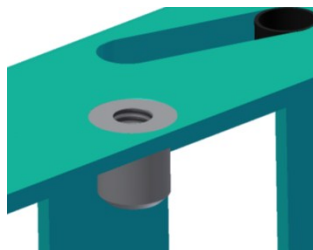
Obr. 26: Pevná mříž



Obr. 27: Závitové čepy



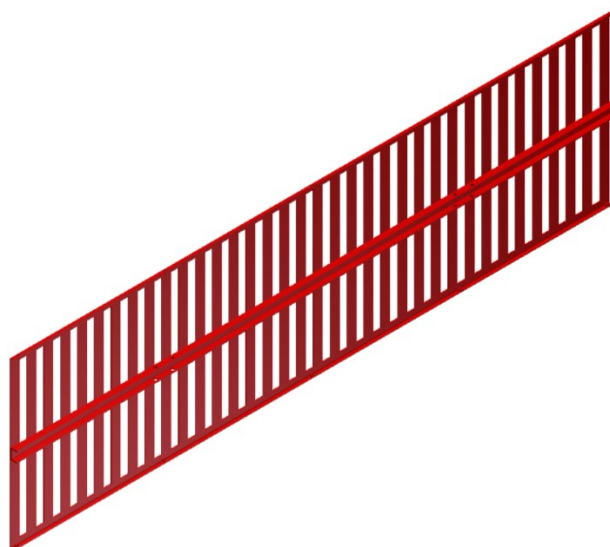
Obr. 28: Návary



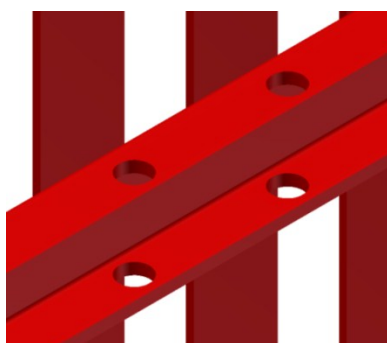
Obr. 29: Závitová matice

Pohyblivá mříž

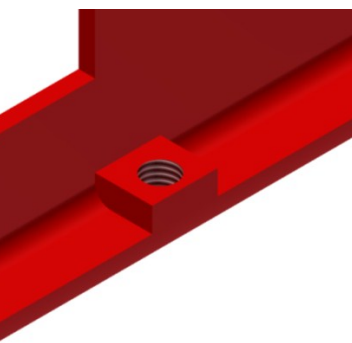
Pohyblivá mříž je hlavní částí mechanismu zavírání. Tvoří ji ohýbaný ocelový plech tloušťky 2 mm, ve kterém jsou vypáleny otvory, které slouží pro prostup vzduchu v poloze otevřeno. Otvory odpovídají otvorům v pevné mřížce. Pohyblivá mříž je k pevné připevněna pomocí čepu, který se pohybuje v drážce. Plynulý pohyb mezi oběma mřížemi zajišťuje kluzné ložisko. Sílu pro uzavření mříže vyvodí píst. Síla pístu je na mříž přenášena přes uložení v U profilu, který je k mříži přivařen. U profil distribuuje sílu pístů do uložení v drážkách. Jednodušší připevnění pohyblivé mřížky do mřížky pevné jsou v místech upevnění provedeny návary. Návary mohou být opět nahrazeny méně konstrukčně náročným připevněním pomocí nýtovacích matic. Zde jsou také použity matice se zapuštěnou hlavou.



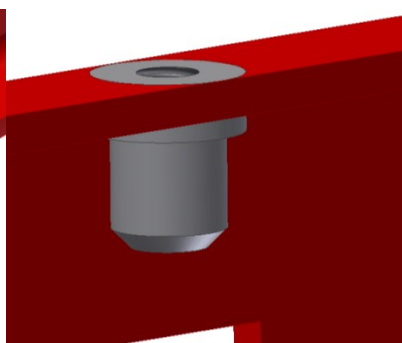
Obr. 30: Pohyblivá mříž



Obr. 31: Uložení pro
připevnění trojúhelníku



Obr. 32: Návar na
připevnění k pevné mříži



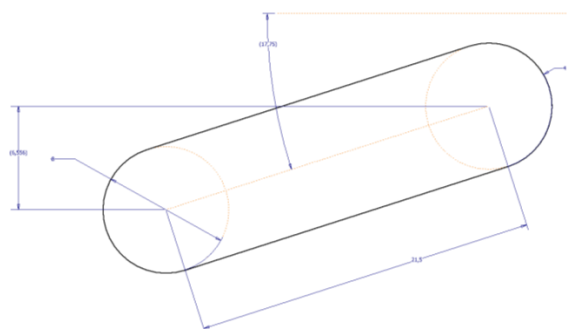
Obr. 33: Umístění
nýtovací matice

Vedení a uložení mřížky

Aby nedocházelo ke kontaktu kov-kov při zavírání či otevírání, není směr pohybu pohyblivé mřížky souběžný s pevnou mříží. Ke kontaktu kov-kov dojde tedy pouze při přitlačení pohyblivé mříže na mříž pevnou. Úhel také určuje vzdálenost jaká bude při otevření mezi oběma mřížkami. Dále je toto řešení zvoleno z důvodu použití rozdílných šířek mezer vnější mřížky a lamel vnitřní mřížky.



Obr. 34: Drážky na pevné mřížce



Obr. 35: Základní parametry drážky

K uložení vnitřní mřížky bylo použito šroubů s válcovou hlavou. Na šrouby je umístěno PTFE ložisko firmy SKF. Toto ložisko bylo voleno s ohledem na tlaky vznikající v těchto spojení. Přes tyto spojení se přenáší větší část tlakové síly vzniklé od tlaku působícího na mřížku při tlakovém rázu. Pokud budeme brát v úvahu nejhorší variantu (maximální tlak, bez působení síly pístu), bude každý šroub muset přenést sílu:

$$F = \frac{p \cdot S}{i} \quad [\text{N}] \quad (13)$$

F...síla působící na jeden šroub [N]

p... tlak působící na mřížku [Pa]

S... plocha mřížky [m²]

i... počet šroubů [-]

$$F = \frac{3000 \cdot 0,32}{10} = 96 \text{ N}$$

Na ložisko budou při pohybu v drážce působit Hertzovy tlaky. Konkrétně čárový styk mezi ložiskem a pevnou mříží.



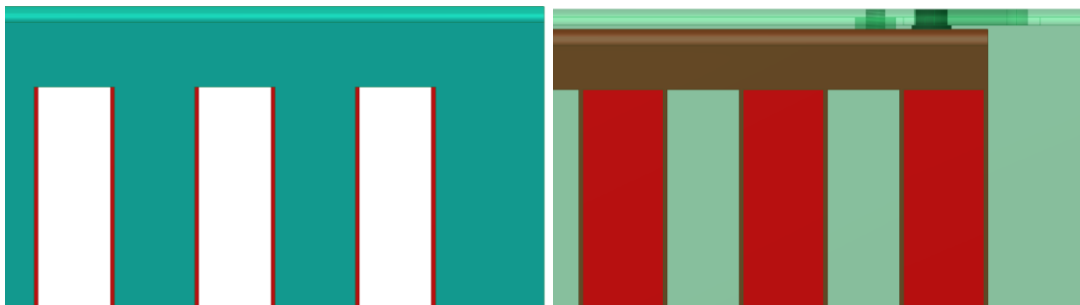
Obr. 36: Ložisko v drážce

Obr. 37: Uložení vedení

Těsnění mříží

Těsnost mříží při poloze zavřeno zajišťuje větší šířka lamel u pohyblivé mříže. Na každé straně lamely tak vznikne přesazení o 1 mm. Toto přesazení také zajišťuje vymezení netěsnosti při špatném sestavení celku. V poloze otevřeno pak lamely pohyblivé mřížky zasahují do prostoru proudění vzduchu. To ovšem nevadí, protože pohyblivá mříž je dále od mříže pevné, tak vzduch může prudit i nad a pod mříží.

Přesahy lamel lze vidět na Obr. 38, kde na Obr. 38 je přesah lamel při otevřeném stavu červeně. Na Obr. 39 je přesah lamel vidět hnědě, pevná mříž je transparentně zelená.



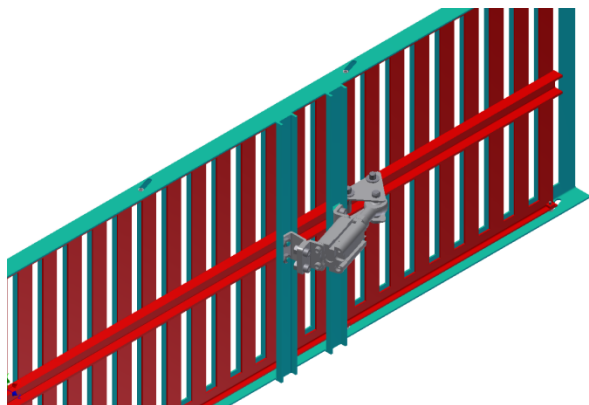
Obr. 38: Poloha otevřeno – přesah lamel pohyblivé mříže

Obr. 39: Poloha uzavřeno – přesah lamel pohyblivé mříže

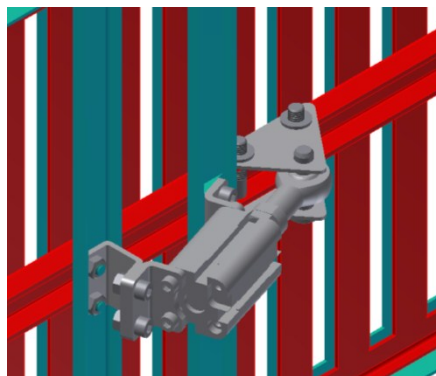
9.2 Varianty řešení

9.2.1 S válcem uloženým šikmo

Tato varianta uložení pístu je nejvhodnější s ohledem na jednoduchost uložení a přenášení síly z válce na mřížku. Veškerá síla, kterou válec vyvodí je využita k uzavření mřížky. Hlavní nevýhodou tohoto řešení je vysoká výška, ta se odvíjí od velikosti válce, a tedy úhlu, pod kterým je vytvořena drážka pro vedení mřížky.

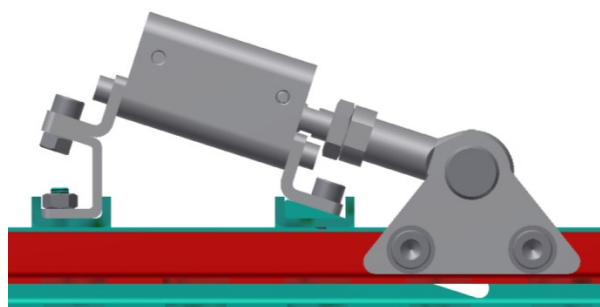


Obr. 40: Uložení válce šikmo k mřížce



Obr. 41: Detail uložení

Válec je pod úhlem uchycen k pevné mřížce. K uložení na straně pístnice je použit návar na nosný profil. Do tohoto návaru jsou navrtány díry se závity. K uložení na vzdálenější straně je použit profil ohnutý pod úhlem sklonu drážky. Propojení mezi válcem a těmito uchyceními je tvořeno dvěma profily, které jsou standartním příslušenstvím pístů od firmy Bosch Rexroth.



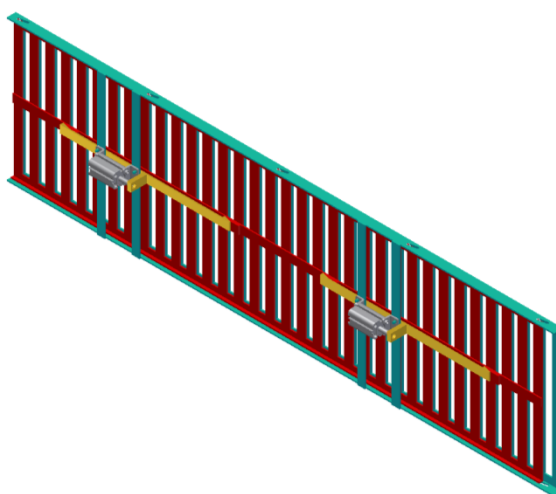
Obr. 42: Uložení válce šikmo k mřížce v otevřené poloze

K přenosu síly z válce na mříž je využito propojení s čepem. Čep zajistí přenos síly i v případě drobné nesouososti os válce a drážky, která může vzniknout při montáži.

9.2.2 S přítlačnými klíny

Řešení s přítlačnými klíny odstraňuje hlavní problém s vyšší výškou konstrukce. Válec je uložen souběžně s mřížkou. Síla válce je přenášena na mříž pomocí přítlačného rámu. Klíny, jež jsou umístěny na přítlačném rámu, tak na pohyblivé mřížce, dokáží transformovat přímočarý pohyb válce na přímočarý pohyb mřížky v drážce, která je skloněna pod úhlem k ose válce.

Velkou nevýhodou tohoto řešení je nutnost zajistit otevření pohyblivé mřížky jiným způsobem, než v předchozím případě, kdy mříž otevře pružina umístěná ve válci. Otevření mříže může být zařízeno například pružinou mezi pohyblivou a pevnou mříží.



Obr. 43: Uložení s přítlačnými klíny

Na následujících obrázcích lze vidět fázi otevřeno a zavřeno. Při přechodu z polohy otevřeno do zavřeno, píst pohne přítlačným profilem. Ten se začne smýkat po kluzné ploše klínu. Díky tření dojde k přenesení síly na mříž. Tato síla mříž uvede do pohybu. Přítlačení klínem zajistí krajní polohu zavřeno.



Obr. 44: Vlevo poloha otevřeno, vpravo poloha zavřeno

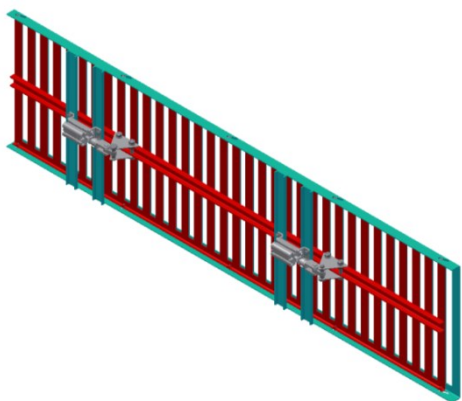
Dvojici přítlačných klínů lze také nahradit klínem a kladkou.

9.2.3 S válcem uloženým souběžně s mřížkou

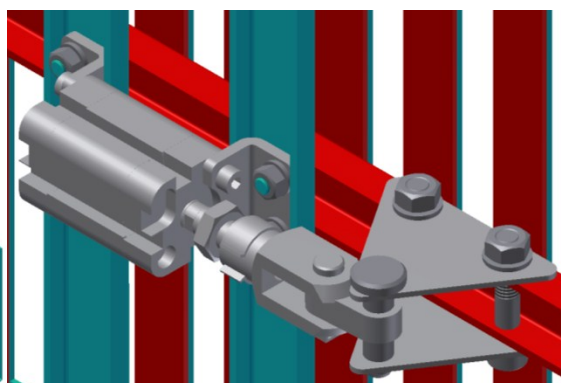
Varianta s podélným umístěním válce je nejspíše nejvhodnějším řešením. Proto i další způsob řešení problému se ubíral tímto směrem. Tento způsob přenosu síly z pístu na mříž spočívá v použití ojnice. Výhodou tohoto řešení je nízká výška, vrácení mřížky do polohy otevřeno je zajištěno pružinou uvnitř pístu.

Při otevřeném stavu je ojnice v poloze vodorovné s pístem. Píst má výsuv odpovídající délce drážky měřené vodorovně. Při vysunutí se tedy ojnice ohne o stejný úhel, jaký svírá drážka s podélnou rovinou mřížky.

Nevýhodou je zmenšení síly působící na mřížku o úhel, který v daném momentu svírá ojnice s pístnicí, či ojnice s osou drážky.

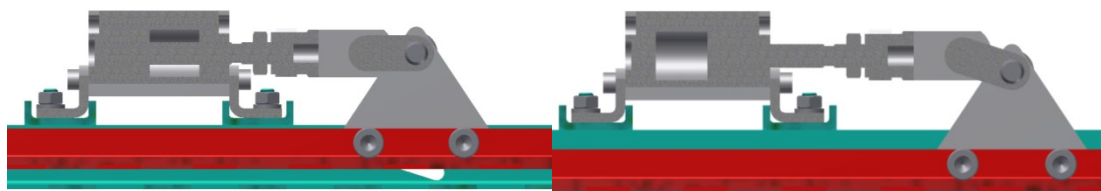


Obr. 45: Uložení souběžně s mřížkou



Obr. 46: Detail uložení válce

Následující obrázky zobrazující mezní stavy mřížky, otevřeno a uzavřeno. Při otevřeno je píst zasunutý. Při zachycení změny tlaku čidlem dojde k okamžitému přivedení stlačeného vzduchu do pístu. Píst se tedy poměrně rychle dostane do polohy uzavřeno. Po celou dobu tlakové vlny působí síla vyvozená pístem na mříž a těsní tak proti tlakovému rázu. V otevřené poloze jde vidět vyklonění ojnice o úhel schodný s úhlem drážky.



Obr. 47: Vlevo pozice otevřeno, vpravo pozice uzavřeno

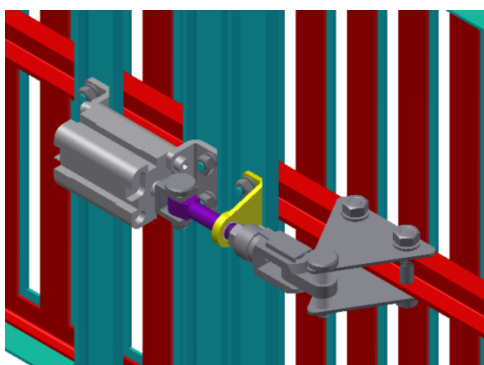
9.3 Ochrana pístnice

Pístnice bude při vysouvání namáhána silou, která působí pod úhlem drážky. Bude tedy namáhána na ohyb. Je nutné zamezit tomuto procesu, jelikož pístnice nemůže být namáhána na ohyb.

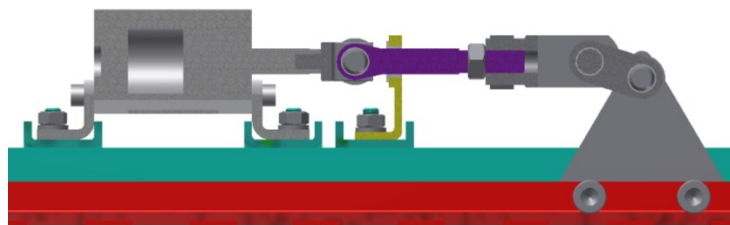
Byl vytvořen mechanismus přenášející ohybové zatížení pístnice do rámu pevné mřížky. Mezi pístnicí a ojnicí byly vloženy další čtyři členy. Prodloužení pístnice, na Obr. 48 fialově. Vidlice u pístu, na obrázku s béžovou barvou. Uložení pro přenos síly na rám, na obrázku žlutě. Čep pro uchycení prodloužení. Dále pak byly přidány třecí ložiska v místech, kde dochází k vzájemnému pohybu částí vůči sobě, tedy na čep, a do uložení prodloužení pístnice.

Použití této ochrany pístnice však přináší několik nevýhod:

- Složitější zařízení – tedy větší možnost poruchy, u tohoto zařízení předpokládáme, že bude bezúdržbové,
- větší hmotnost – s větším počtem prvků a částí roste hmotnost zařízení.



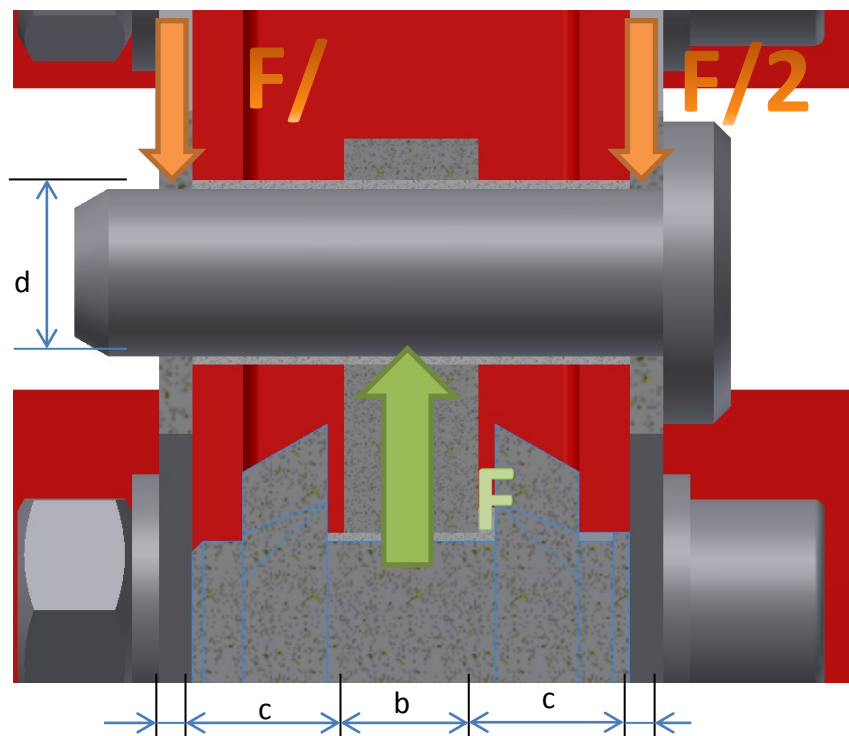
Obr. 48: Systém zachycení ohybového momentu



Obr. 49: Řez uchycení – poloha uzavřeno

10 Kontroly namáhání

Kontrola čepu



Obr. 50: Spoj čepem

Kontrola na otláčení

$$p = \frac{F_{\check{c}}}{S} = \frac{F_{\check{c}}}{b \cdot d} \quad [\text{MPa}] \quad (14)$$

$F_{\check{c}}$...síla působící na čep vyvozená válcem [N]

p ... tlak vyvozený silou [MPa]

S ... plocha otláčení [mm^2]

b ...délka otláčení [mm]

d ...průměr otláčení [mm]

$$p = \frac{228}{8 \cdot 10} = 2,85 \text{ MPa}$$

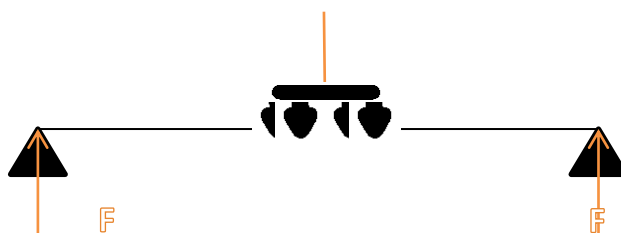
$$p = \frac{F/2}{S} = \frac{F/2}{a_o \cdot d} \quad [\text{MPa}] \quad (15)$$

F ...síla působící na čep vyvozená válcem [N]

p... tlak vyvozený silou	[Pa]
S... plocha otlačení	[mm ²]
a _o ...délka otlačení	[mm]
d...průměr otlačení	[mm]

$$p = \frac{228/2}{2 \cdot 10} = 5,7 \text{ MPa}$$

Kontrola na kombinované namáhání ohybem a smykem



Obr. 51: Rozložení sil na čepu

$$\sigma_o = \frac{M_{oMAX}}{W_o} = \frac{\frac{F\check{c}}{2} \cdot \left(\frac{a+b}{2} + c \right)}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad [\text{MPa}] \quad (16)$$

σ_o ...napětí v ohybu	[MPa]
M_{oMAX} ... maximální ohybový moment	[Nmm]
W_o ...modul pružnosti	[mm ³]
$F\check{c}$...síla působící na čep vyvozená válcem	[N]
a ... tloušťka stěny plechu	[Pa]
b ... tloušťka ojnice	[m ²]
c ...vzdálenost ojnice od uložení	[mm]
d ...průměr čepu	[mm]

$$\sigma_o = \frac{\frac{228}{2} \cdot \left(\frac{2+8}{2} + 9 \right)}{\frac{\pi \cdot 10^3}{32}} = 16,26 \text{ MPa}$$

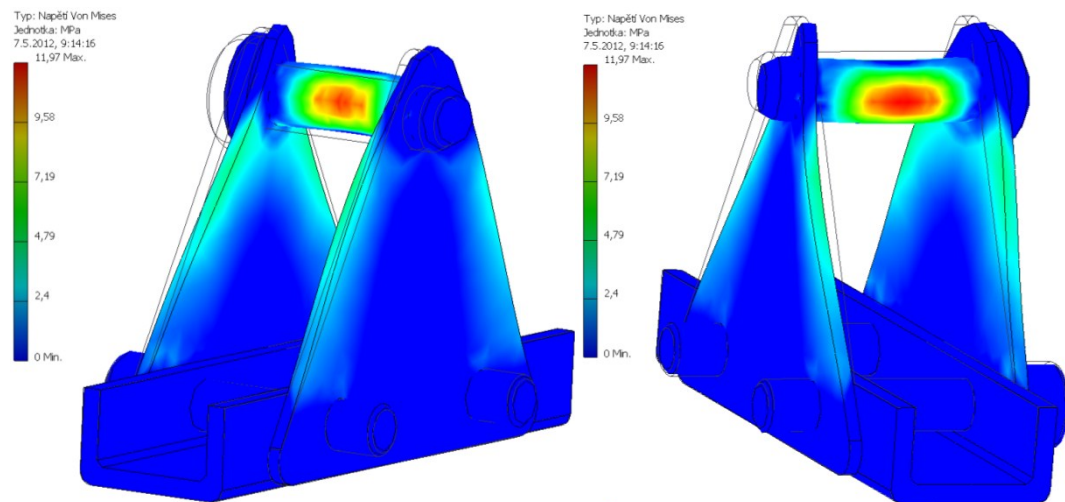
Bezpečnost v ohybu

$$k_{\sigma_o} = \frac{\sigma_{co}}{\sigma_o} \quad [-] \quad (17)$$

σ_{co} ...mez únavy [MPa]

$$k_{\sigma_o} = \frac{100}{16,26} = 6,15$$

K ověření výsledků byla použita analýza MKP v programu Inventor. Síla přenášená na čep byla umístěna do části, která spojuje čep s pístnicí. Pevné uchycení bylo umístěno do uložení čepu. Dotyky byly ponechány automatické, s ohledem na již vytvořené vazby mezi komponenty.



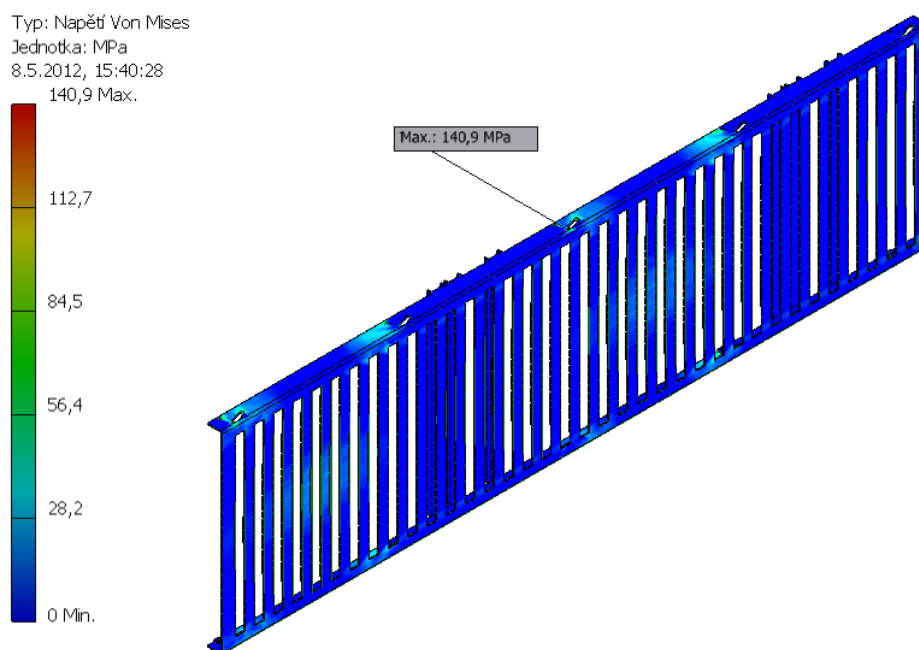
Obr. 52: Kontrola čepu a jeho uložení pomocí MKP

Kontrola pomocí programu Inventor odhalila nejvíce namáhaná místa. Nejvíce namáhanou součástí v této sestavě je čep. Materiál čepu byl zvolen dle EU E295 dle ČSN 11 500. Ten má pro míjivé zatížení v ohybu mez pevnosti 100 až 150 MPa.

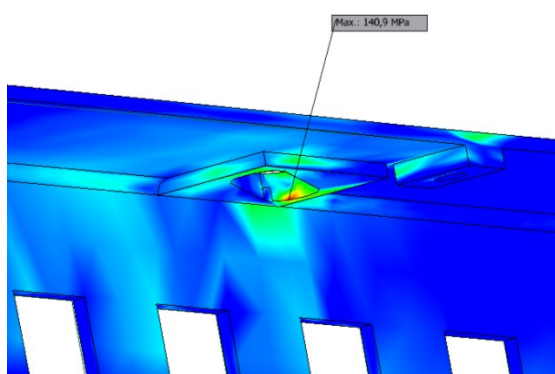
Výpočet i kontrola ukázaly, že napětí ve všech místech zkoumané sestavy vyhoví z hlediska bezpečnosti.

Kontrola mříže pomocí napětové analýzy

Pevná mříž je namáhána působením tlakové vlny. Tedy působením tlaku ze zadání diplomové práce 3000 Pa. Tlak působí na celou přední stranu mříže, za ní by se již neměl dostat. Pevné vazby byly umístěny do šroubových spojů, spojující tuto mřížku a ochrannou vnější mříž. Materiál mříže byl zvolen dle značení EU S235JRG1, podle starého značení ČSN 11 373.0. Tedy R_m má min. 340-440 MPa a R_e 186 MPa.



Obr. 53: Kontrola pevné mřížky MKP

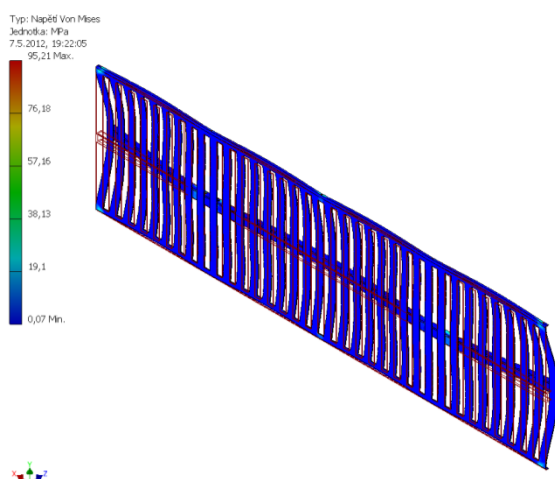


Obr. 54: Místo s největším napětím

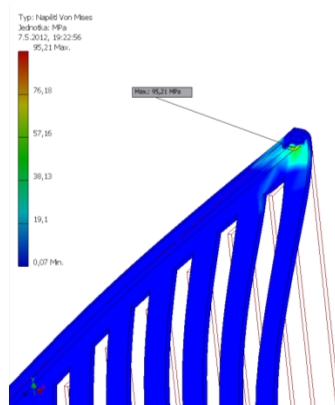
Z pevnostní analýzy vyplynulo, že součást vyhovuje ve všech svých místech. Vyhodnocené napětí je nižší než napětí dovolené. Nejvyšší hodnota napětí byla zjištěna v místě návaru.

Kontrola pohyblivé mříže pomocí MKP

Pro konstrukci pohyblivé mříže byl také volen materiál S235JRG1 (ČSN 11 373.0). Pevné vazby byly umístěny do uchycení šroubů pro vedení v drážce, ale také do uchycení šroubů pro přenos síly válce. Zatížena byla tlakovou silou 3000 Pa kolmo na mříž.



Obr. 55: Kontrola pohyblivé mřížky pomocí MKP



Obr. 56: Místo s největším napětím

Při kontrole nebylo zjištěno žádné překročení povolených mezí. Místo s největším napětím bylo v návaru pro šroub vedení v drážce.

Výpočet Hertzova tlaku působící mezi ložiskem a pevnou mříží

Pro výpočet Hertzova tlaku bylo nutné znát Youngův modul pružnosti a Poissonovo číslo pro materiály ve styku. Další veličiny potřebné pro výpočet byly poloměr oblouku ložiska, délka styku ložiska s pevnou mříží a síla přenášená jedním stykem.

Díky poměrně malé stykové ploše bylo nutné vybrat takový materiál ložiska, který bude vyhovovat jak v napětí statickém, tak dynamickém.

Tab. 10 Materiálové vlastnosti [15] [16]

	Youngův modul pružnosti [GPa]	Poissonovo číslo [-]
Ložisko – PTFE (Teflon)	0,5	0,46
Pevná mříž - Ocel	180	0,29

Výpočet byl proveden pomocí freeware programu pro řešení hertzova tlaku HertzWin verze 1.2.2 společnosti Vink System Design & Analysis [17]. Pro ověření výsledků bylo nutné výpočet provést i v jiném programu. Za tímto účelem byl použit online výpočtový program [18]. Obrázky z výpočtu programů lze nalést v příloze [C,D].

Výsledky obou programů jsou podobné, jejich rozdílné hodnoty se dají vysvětlit možnou rozdílnou metodou řešení tohoto výpočtu. Nejdůležitější hodnotou těchto výpočtů je maximální napětí v místě dotyku, tedy hertzovo napětí (Hertz contac stress, maximum contact pressure).

Tab. 11 Výsledky Hertzova napětí [17][18]

	HertzWin [MPa]	Online výpočet [MPa]
Hertzovo napětí	34,86	≈30,00

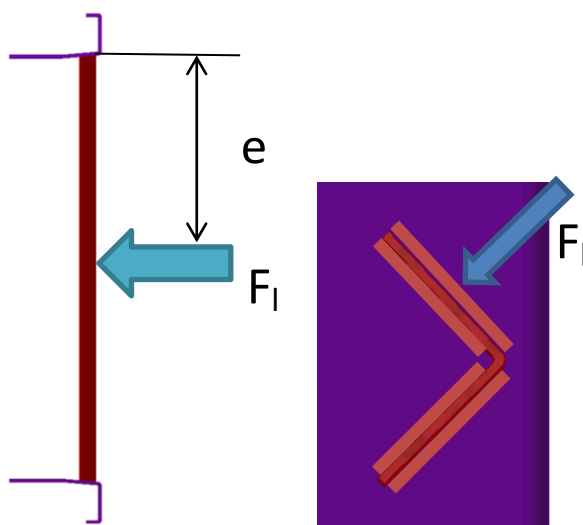
Výsledné napětí musí být nižší než dovolené napětí pro daný materiál. Podmínka je při použití PTFE ložiska splněna. Ložisko má dovolené dynamické napětí 80 MPa.

Výpočet svarů

Připevnění lamel k profilu

Jednotlivé lamely labyrintu mřížky jsou přivařeny k profilu vnější mříže pomocí oboustranného koutového svaru. Tento svar je namáhán krutem. Materiál svaru je kvalitnější než svařovaný materiál, proto se počítá s maximálním dovoleným napětím pro svařovaný materiál.

Pro jednodušší výpočet bude brána v úvahu jen jedna plocha ohnuté lamely.



Obr. 57: Síla působící na lamelu mříže

Obr. 58: Řez lamelou s působením síly

Plocha jedné lamely je 7393 mm^2 (měřeno v programu Inventor). Tedy $0,007393 \text{ m}^2$. Na tuto plochu působí tlak 3000 Pa . Síla, která působí na jednu lamelu je tedy:

$$F_l = p \cdot S_l = 3000 \cdot 0,007393 = 22,2 \text{ N}$$

Kontrola svaru:

Napětí rovnoběžně s hranou svaru.

$$\tau_{\parallel 1} = \frac{F_l}{S_{sv1}} = \frac{F_l}{2 \cdot a_{sv1} \cdot l_{sv1}} = \frac{22,2}{2 \cdot 4 \cdot 15} = 0,185 \text{ MPa} \quad [\text{MPa}] \quad (18)$$

S_{sv1} ...plocha příčného řezu svarem [mm²]

a_{sv1} ...tloušťka svaru [mm]

l_{sv1} ...délka svaru [mm]

Napětí kolmo na svar.

$$\tau_{\perp 1} = \frac{M_{Osv}}{W_{OFI}} = \frac{F_l \cdot e}{\frac{a^2 \cdot l}{6} \cdot 2} = \frac{22,2 \cdot 240}{\frac{4^2 \cdot 15}{6} \cdot 2} = 66,6 MPa \quad [MPa] \quad (19)$$

M_{OFI} ...ohybový moment od síly na jednu lamelu [Nmm]

W_{OSV} ...modul pružnosti v ohybu svaru [m³]

e_1 ... vzdálenost umístění síly od osy svaru [mm]

Redukované napětí ve svaru.

$$\tau_1 = \sqrt{\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \tau_{DS} \quad [MPa] \quad (20)$$

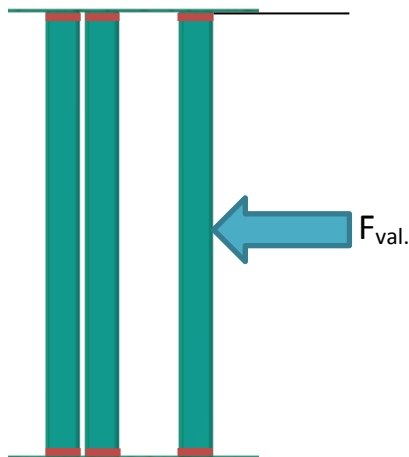
τ_{DS} ...dovolené napětí ve střihu [MPa]

$$\tau_1 = \sqrt{66,6^2 + 0,185^2} = 66,6 MPa \leq 65 \div 95 MPa$$

Z uvedených výpočtů vyplývá, že vypočtené napětí je na spodní hranici napětí dovoleného. Toto dovolené napětí je však již bráno s bezpečností 1,5 až 2. Proto lze usoudit, že tento spoj udávané napětí vydrží.

Kontrola svarů U profilů pro připevnění válce

Reakce na sílu, kterou vyvodí válce, působí na uložení pístů. Tedy na U profily ke kterým je připevněn. Tyto profily jsou přivařeny k rámu pevné mříže pomocí koutového svaru. Tento svar je namáhán rovnoběžně s osou svaru.



Obr. 59: Umístění svarů na mřížce



Obr. 60: Řez mřížkou

Síla působící na jeden U profil.

$$F_U = \frac{F_{val.}}{2} \quad [N] \quad (21)$$

$$F_U = \frac{228}{2} = 114N$$

Napětí rovnoběžné s osou svaru.

$$\tau_{\parallel 2} = \frac{F_U}{S_{sv2}} = \frac{F_U}{a_{sv2} \cdot l_{sv2}} \leq \tau_{DS} \quad [MPa] \quad (22)$$

S_{sv1} ...plocha příčného řezu svarem [mm²]

a_{sv1} ...tloušťka svaru [mm]

l_{sv1} ...délka svaru [mm]

$$\tau_{\parallel 2} = \frac{114}{4 \cdot 30} = 0,95 MPa \leq 65 \div 95 MPa$$

Tento svar naprosto vyhoví podmínce bezpečnosti. Vypočtené namáhání je až 100 x menší než napětí dovolené. A to i s bezpečností 1,5 až 2. Z tohoto vyplývá, že je možnost použít i menší šířku svaru. Vzhledem k manuálnímu svařování by však toto bylo pro dělníka zbytečnou zátěží.

11 Volba vhodného válce

Válec byl volen s ohledem na sílu, kterou musí vyvodit. Válec musí vyrovnat a přetlačit sílu vyvozenou tlakem působící na plochu mřížky.

Pokud tedy na mřížku o ploše mřížky 319572 mm^2 (údaj z programu Inventor) působí tlak 3000 Pa , je síla rovna:

$$F = p \cdot S \quad [\text{N}] \quad (23)$$

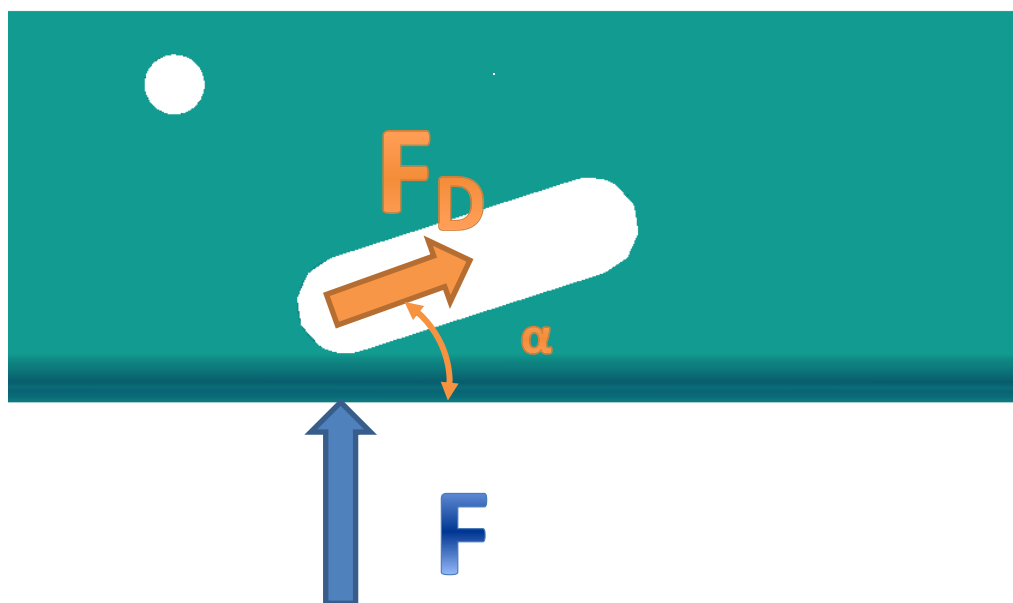
F...síla působící na jeden šroub [N]

p... tlak působící na mřížku [Pa]

S... plocha mřížky [m²]

$$F = 3000 \cdot 0,32 = 960 \text{ N}$$

Díky uložení pohyblivé mřížky v drážce je však na píst přenesena jen část této síly. Zbylou složku síly zachytí konstrukce mříže.



Obr. 61: Rozložení síly vyvozené od zatížení tlakem

$$F_D = F \cdot \sin \alpha \quad [\text{N}] \quad (24)$$

F_D...síla působící na válec [N]

F...síla působící na jeden šroub [N]

α... úhle drážky [°]

$$F_D = 960 \cdot \sin 17,75^\circ = 293 \text{ N}$$

Síla F_D je mezní hodnota síly, kterou musí pneumatický válec vyvinout, pokud by byl uložen ve směru osy drážky.

Z důvodu lepšího rozložení a distribuce síly, je vhodné použít více válců. V tomto případě byl zvolen počet válců dva. Síla, kterou musí válec překonat, se dělí dvěma.

$$F_{pot.} = \frac{F_D}{2} \quad [N] \quad (25)$$

F_D ...síla působící na válec [N]

$F_{pot.}$...síla působící na jeden válec [N]

$$F_{pot.} = \frac{293}{2} = 146,5N$$

Toto je tedy síla, podle které zvolíme píst. Síla pístu musí být větší, než tato. Zároveň musíme pamatovat na druh uložení pístu, zda také síla vyvozená pístem nebude zmenšena vlivem úhlu. Dalším kritériem pro volbu pístu je jeho rychlost. Proto musíme brát v úvahu také rozdíl síly vyvozené pístem a síly od působícího tlaku.

V neposlední řadě, je také nutno brát ohled na velikost válce, je snaha docílit nízké výšky zástavby.

Z výše popsaných podmínek byl z katalogu firmy Bosch Rexroth vybrán pneumatický píst z řady KPZ. Válec s pružinou, bez tlaku zasunutý. Tato pružina slouží k otevření mříže. Další parametry válce jsou popsány v příloze A.

Vzhledem k vypočtené síle, byl zvolen píst s průměrem 25 mm. Síla, kterou působí při vysouvání je 234 N, tedy více než dostačující. Při použití pístu s průměrem 20 mm by při skolení osy působení síly a působení tlaku na mřížku mohlo dojít k vyrovnání sil a tedy nezavření mřížky.

Dalším důvodem k volbě většího průměru pístu je jeho zatěžování. Kdy je vhodnější nevyužívat veškerou sílu vyvozenou pístem.

Dále je nutné vypočítat sílu, kterou bude píst působit při tlaku 0,5 MPa. Tento tlak je v tlakovém rozvodu vlaku. Který bude použit pro pohon zavírání mřížky.

Výpočet síly v pístu

Udávaný tlak ve vlakovém rozvodu má tlak 5 bar, tedy 0,5 MPa.

$$F_p = p \cdot S = p \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [\text{N}] \quad (26)$$

F_p ...síla působící na píst [N]

p ...tlak ve válci [Pa]

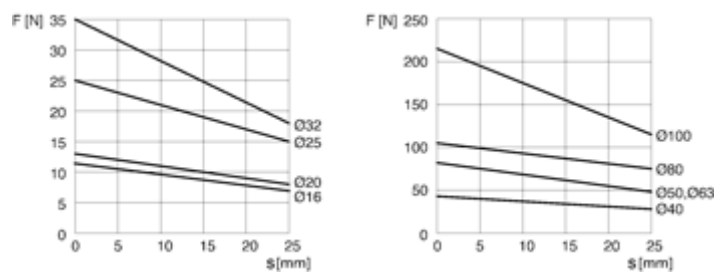
S ...plocha pístu [mm^2]

d ...průměr pístu [mm]

$$F_p = 500000 \cdot \frac{\pi \cdot 0,025^2}{4} = 245,44 \text{ N} \approx 245 \text{ N}$$

Z grafu určíme sílu pružiny, která působí proti vysunutí pístu.

Graf 1: Síla pružiny v pístu [2]



$$F_{pr} = 17 \text{ N}$$

$$F_{val.} = F_p - F_{pr} \quad [\text{N}] \quad (27)$$

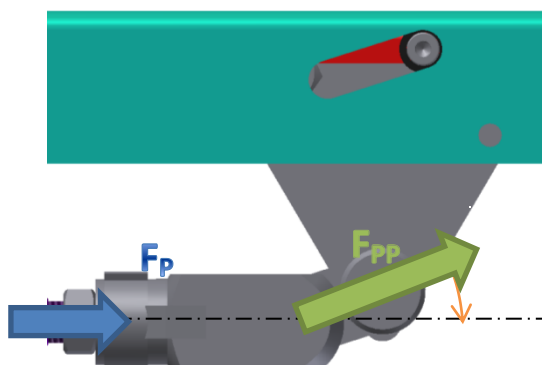
$F_{val.}$...síla válce [N]

F_p ...síla působící na píst [N]

F_{pr} ...síla pružiny [N]

$$F = 245 - 17 = 228 \text{ N}$$

Výpočet síly pístu při přenosu síly z uložení kolmého na mřížku



Obr. 62: Rozložení síly vyvozené válcem

$$F_{PP} = F_{val.} \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (28)$$

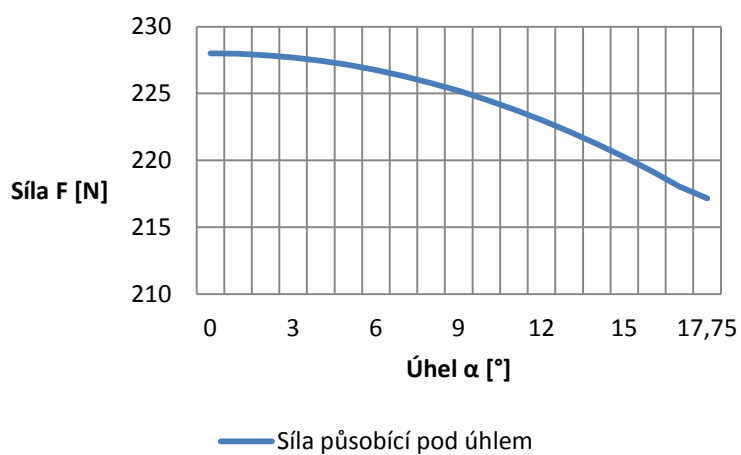
F_{PP} ...síla přenesená na zavření mřížky [N]

$F_{val.}$...síla vyvolaná válcem [N]

α ... úhle drážky [°]

$$F_{PP} = 228 \cdot \cos 17,75^\circ = 217,15N$$

Graf 2: Průběh síly zmenšující se s úhlem naklonění ojnice



11.1 Teoretická rychlost uzavření mřížky

Rychlost uzavření mřížky v nezatíženém stavu

Proti pohybu působí pouze tření.

$$F_{zav.} = F_{PP} - F_T \quad [N] \quad (29)$$

$F_{zav.}$...síla na zavření mřížky [N]

F_{PP} ... síla vyvozená válcem [N]

F_T ... třecí síla [N]

$$F_{zav.} = 456 - 1 = 455N$$

Výpočet zrychlení

$$F_{zav.} = m_h \cdot a_p \quad [N] \quad (30)$$

M_h ...hmotnost mřížky [N]

a_p ... zrychlení pístu [m/s²]

$$a_p = \frac{F_{zav.}}{m} = \frac{455}{7,7} = 59,1m/s^2$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad [m] \quad (31)$$

s ...výsuv pístu [m]

t ...čas uzavření [s]

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,021}{59,1}} = 0,027s$$

$$v = \frac{s}{t} \quad [m/s] \quad (32)$$

v ... rychlost pístu na konci zdvihu [m/s]

$$v = \frac{0,021}{0,027} = 0,78m/s$$

Rychlost uzavření mřížky při maximálním zatížení

Rychlost uzavření mřížky při působení síly vyvozené tlakem 3000 Pa na plochu mřížky.

$$F = F_{PP} - F_D - F_T \quad [\text{N}] \quad (33)$$

F ...síla na zavření mřížky [N]

F_{PP} ... síla vyvozená válcem [N]

F_D ... tlaková síla [N]

F_T ... třecí síla [N]

$$F = 456 - 293 - 1 = 162 \text{ N}$$

Otevření mřížky

K otevření je použita síla pružiny v pístu, proti pohybu působí pouze tření.

$$F = F_{pr} - F_T \quad [\text{N}] \quad (34)$$

F ...síla na zavření mřížky [N]

F_{PP} ... síla vyvozená válcem [N]

$$F = 17 - 1 = 16 \text{ N}$$

Přehled výsledků

Tab. 10: Shrnutí rychlostí zavírání a otevírání mřížky

Typ pohybu	Zrychlení [m/s ²]	Maximální rychlost [m/s]	Čas otevření [s]
Otevření bez zatížení	59,1	0,78	0,027
Otevření s maximálním zatížením	21	0,46	0,045
Zavření	2,08	0,15	0,14

12 Tlakové čidlo

Signál k zavření tlakové mřížky vydá tlakové čidlo. Čidlo je nastaveno na určitou diferenci tlaku v čase. Tlakové čidlo je však nutné umístit v dostatečné vzdálenosti od mříže tak, aby čas, za který tlaková vlna urazí určitou dráhu, byl delší než čas potřebný na zavření mřížky.

Při teplotě 15°C na hladině moře je rychlost zvuku přibližně 340 m/s.

Jeden metr tedy zvuk urazí za:

$$t_{\text{č}} = \frac{s}{v} \quad [\text{s}] \quad (35)$$

$t_{\text{č}}$...čas, za který zvuk urazí jeden metr [s]

s...dráha 1 metr [m]

v...rychlost zvuku [m/s]

$$t_{\text{č}} = \frac{1}{340} = 0,0029\text{s}$$

Poměr mezi časy:

$$P = \frac{t}{t_{\text{č}}} \quad [-] \quad (36)$$

t... čas, za který se uzavře mřížka [s]

$$P = \frac{0,027}{0,0029} = 9,31 \quad [-]$$

Je zapotřebí nejpozději 9,31 m před mříží umístit tlakové čidlo, které dá pokyn k zavření mříže.

Při délce vozu 24 000mm a umístěním mřížky doprostřed vozu, by na každé straně zbylo přibližně 11 250 mm, tedy dostatečná vzdálenost pro zavření tlakové mřížky nasávání. Bylo by tedy vhodné umístit tlakové čidla na začátek i konec vozu.

Pokud by se čidlo umístilo až do mechanismu mřížky, musela by se mřížka zavírat již při působícím tlakovém rázu.

13 Výpočty utahovacích momentů šroubových spojení a jejich kontrola

Šroub by dle skript Řešené příklady z částí a mechanismů strojů [20] by nikdy neměl být namáhán na stříh. K tomuto namáhání dochází pouze, pokud není šroub správně dotažen.

Šroubový spoj pevné mřížky a mříže ochranné – spoj 1

Síla na mřížku

$$F = p \cdot S \quad [\text{N}] \quad (37)$$

S...plocha mřížky $[\text{m}^2]$

p... tlak na mřížku $[\text{Pa}]$

$$F = 3000 \cdot 0,322 = 966 \text{ N}$$

Tuto sílu je nutné vykompenzovat utahovacím momentem.

Třecí síla:

$$F_T = f \cdot F \quad (\text{N}) \quad (38)$$

f...koeficient tření $[-]$

$$F_T = 0,1 \cdot 966 = 96,6 \text{ N}$$

Třecí síla na jeden šroub:

$$F_{T1} = \frac{F_T}{i} \quad (\text{N}) \quad (39)$$

i...počet šroubů $[-]$

$$F_{T1} = \frac{96,6}{10} = 9,66 \text{ N}$$

Toto je síla, kterou je potřebné vyvodit utahovacím momentem.

K propojení obou mřížek byly zvoleny šrouby M6.

Úhel stoupání v závitu:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{P_h}{\pi \cdot d_2}\right) \quad [^\circ] \quad (40)$$

P_h ...stoupání závitu [mm]

d_2 ...střední průměr šroubu [mm]

$$\gamma = \arctg\left(\frac{1}{\pi \cdot 5,35}\right) = 3,4^\circ$$

Úhel tření v závitové drážce:

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{f_z}{\cos\frac{\beta}{2}}\right) \quad [^\circ] \quad (41)$$

f_z ...součinitel tření materiálu šroubu [-]

β ...vrcholový úhel závitu [°]

$$\varphi' = \arctg\left(\frac{0,1}{\cos\frac{60^\circ}{2}}\right) = 6,59^\circ$$

Utahovací moment:

$$M_u = \frac{F_{T1}}{2} \cdot [d_2 \cdot \tan(\gamma + \varphi') + f_h \cdot d_s] \quad [Nmm] \quad (42)$$

f_h ...součinitel tření pod hlavou šroubu [-]

d_s ...průměr, na kterém působí třecí síla [mm]

$$M_u = \frac{9,66}{2} \cdot [5,35 \cdot \tan(3,4^\circ + 6,59^\circ) + 0,1 \cdot 7,69] = 8,27 Nmm$$

Redukované napětí dle hypotézy HMM:

Napětí v tahu:

$$\sigma_t = \frac{F_{T1}}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} \quad [\text{MPa}] \quad (43)$$

d_3 ...nejmenší průměr šroubu [mm]

$$\sigma_t = \frac{9,66}{\frac{\pi \cdot 4,773^2}{4}} = 0,54 \text{ MPa}$$

Napětí v krutu:

$$\tau = \frac{M_z}{W_k} = \frac{F_{T1} \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \tan(\gamma + \varphi')}{\frac{\pi \cdot d_3^3}{16}} \quad [\text{MPa}] \quad (44)$$

M_z ...krouticí moment namáhající [Nmm]

W_k ...průřezový modul v krutu [mm³]

$$\tau = \frac{9,66 \cdot \frac{5,35}{2} \cdot \tan(3,4 + 6,59)}{\frac{\pi \cdot 4,773^3}{16}} = 0,21 \text{ MPa}$$

Výpočet redukovaného napětí:

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad [\text{MPa}] \quad (45)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{0,54^2 + 3 \cdot 0,21^2} = 0,65 \text{ MPa}$$

Šroubové spojení k přenesení síly válce na mříž – spoj 2

Síla vyvozená pístem:

$$F_P = 228N$$

Tuto sílu je nutné vykompenzovat utahovacím momentem.

Třecí síla:

$$F_{T0} = f \cdot F_P \quad [N] \quad (46)$$

f...koeficient tření [-]

$$F_{T0} = 0,1 \cdot 228 = 22,8N$$

Třecí síla na jeden šroub:

$$F_{T1} = \frac{F_T}{i} \quad [N] \quad (47)$$

i...počet šroubů [-]

$$F_{T1} = \frac{22,8}{2} = 11,4N$$

Toto je síla, kterou je potřebné vyvodit utahovacím momentem. Pro toto spojení byly zvoleny šrouby M8.

Tento výpočet je obdobný výpočtu utahovacího momentu a kontroly šroubu předchozího šroubového spoje. Výsledky jsou uvedeny v tabulce Tab. 11.

Šroubový spoj pro vedení mřížky v drážce – spoj 3

Síla na mřížku:

$$F = p \cdot S \quad [N] \quad (48)$$

S...Plocha mřížky [m²]

p... tlak na mřížku [Pa]

$$F = 3000 \cdot 0,322 = 966N$$

Tuto sílu je nutné vykompenzovat utahovacím momentem.

Třecí síla:

$$F_T = f \cdot F \quad (49)$$

f...koeficient tření [-]

$$F_T = 0,1 \cdot 966 = 96,6N$$

Třecí síla na jeden šroub:

$$F_{T1} = \frac{F_T}{i} \quad (50)$$

i...počet šroubů [-]

$$F_{T1} = \frac{96,6}{10} = 9,66N$$

Toto je síla, kterou je potřebné vyvodit utahovacím momentem.

Pro toto spojení byly zvoleny šrouby M4.

Tento výpočet je obdobný výpočtu utahovacího momentu a kontroly šroubu předchozího šroubového spoje. Výsledky jsou uvedeny v tabulce Tab. 11.

Šroubový spoj pro připevnění konstrukce mřížky do hrubé stavby vozu – spoj 4

Maximální síla, která působí, je dle podkladů firmy Siemens ve směru jízdy vlaku. V tomto směru je udávána síla $5g$ [m/s^2], tedy pětinasobek tíhy předmětu.

Tíha mřížky:

$$g = G \cdot m_m \quad [N] \quad (51)$$

G...gravitační zrychlení země [m/s^2]

M_m ...hmotnost sestavy mřížky [kg]

$$g = 9,81 \cdot 20 = 196,2N$$

Síla na jeden šroub:

$$F_g = \frac{g}{i_m} \quad [N] \quad (52)$$

i_m ...počet šroubů pro připevnění mříže [-]

$$F_g = \frac{196,2}{18} = 10,9N$$

Pro toto spojení byly zvoleny šrouby M8.

Zbylé výpočty jsou obdobné s předchozími výpočty. Výsledky jsou uvedeny v tabulce Tab. 11.

Tabulka výsledků

Tab. 11: Shrnutí výsledků výpočtů utahovacích momentů a kontroly šroubů

	Namáhání [N]	Úhel stoupání v závitu [°]	Úhel tření v závitové drážce [°]	Utahovací moment [Nmm]	Napětí v tahu [MPa]	Napětí v krutu [MPa]	Redukované napětí [MPa]
Spoj 1	9,66	3,4	6,59	8,24	0,54	0,21	0,65
Spoj 2	11,4	2,45	6,59	12,67	0,32	0,11	0,37
Spoj 3	9,66	3,7	6,59	5,68	1,25	0,5	1,25
Spoj 4	10,9	3,7	6,59	12,12	0,34	0,12	0,36

Z výsledků uvedených v tabulce vyplývá, že minimální utahovací momenty jsou zanedbatelné. To je způsobeno velkým rozložením působících sil. I výsledná napětí jsou hluboko pod mezí dovoleného napětí. Kde pro šrouby v pevnostní třídě 8.8 $R_m=800\text{MPa}$, $R_e=800\text{MPa}$.

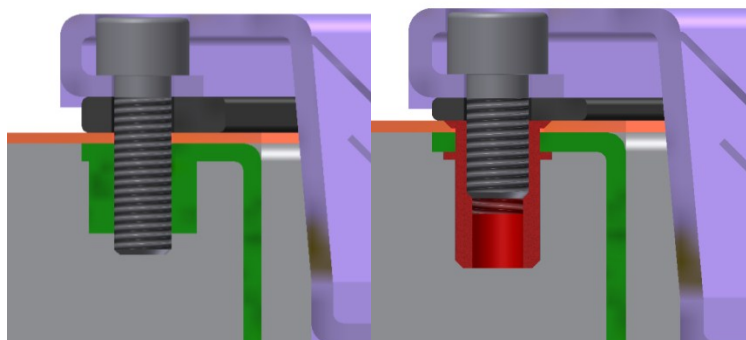
14 Připevnění mřížky do konstrukce vozu

Mřížka se, stejně jako jiné prvky vozu, připevňuje na hrubou stavbu vozu, tedy na nosnou konstrukci.

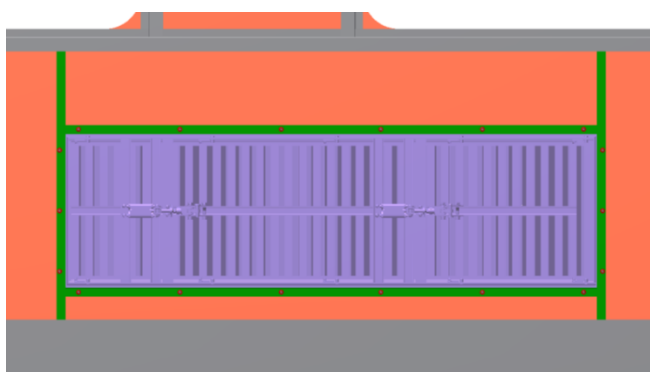
K upevnění se užívá rozebiratelné spojení, nejčastěji spojení šroubové. Mezi mříž a hrubou stavbu je umístěno těsnění. To má zabránit vnikání vody, tlaku, a také zamezit kontaktu kov-kov. Těsnění je pryžové.

Na hrubou stavbu vozu jsou zevnitř navařeny L profily. Umožní připojení mříže pomocí navarků se závitem. Dále tyto profily zvýší tuhost konstrukce oslabenou otvorem pro mříž. Pro připevnění mříže k L profilům se může použít návarů, nebo nýtovacích matic. Výhodou nýtovacích matic je jejich jednoduchá a rychlá instalace oproti navarům, do kterých je nutné dále vytvořit díru se závitem.

Na obrázcích Obr. 63 a 64 je znázorněno uchycení mříže. Zeleně jsou označeny L profily, oranžově vnější plech, fialově mříž, černě těsnění, červeně nýtovací matice.

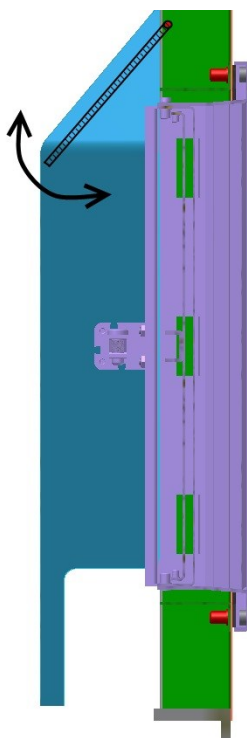


Obr. 63: Upevnění mříže pomocí návarů Obr. 64: Upevnění s nýtovacími maticemi



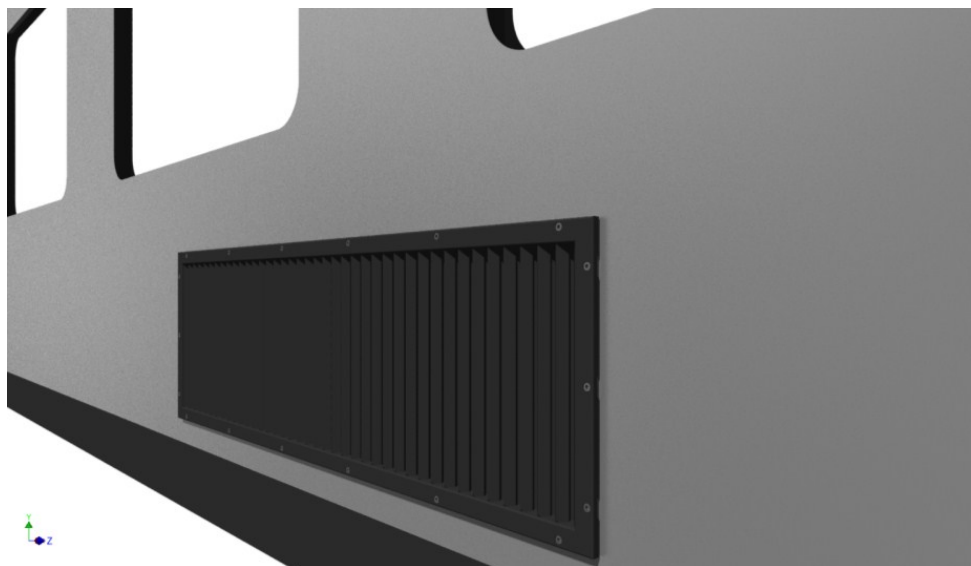
Obr. 65: Upevnění L profilů okolo mříže

V prostoru za mřížkou je umístěna klapka, která reguluje přívod recirkulačního vzduchu do agregátu klimatizace. Tato klapka je znázorněna na obrázku Obr. 66 spolu s naznačením smyslu jejího pohybu.

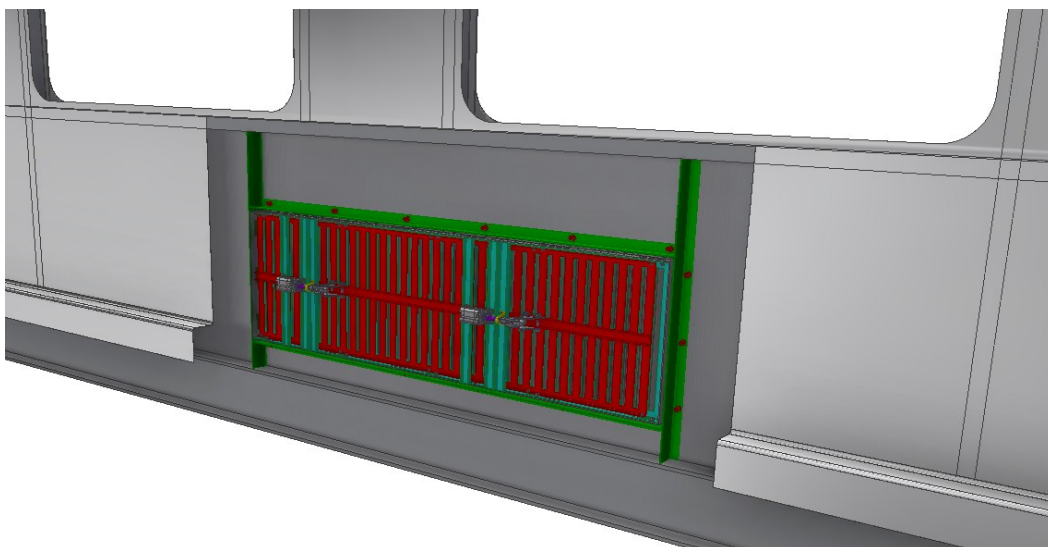


Obr. 66 Řez upevnění mřížky s naznačením rozdělovací klapky

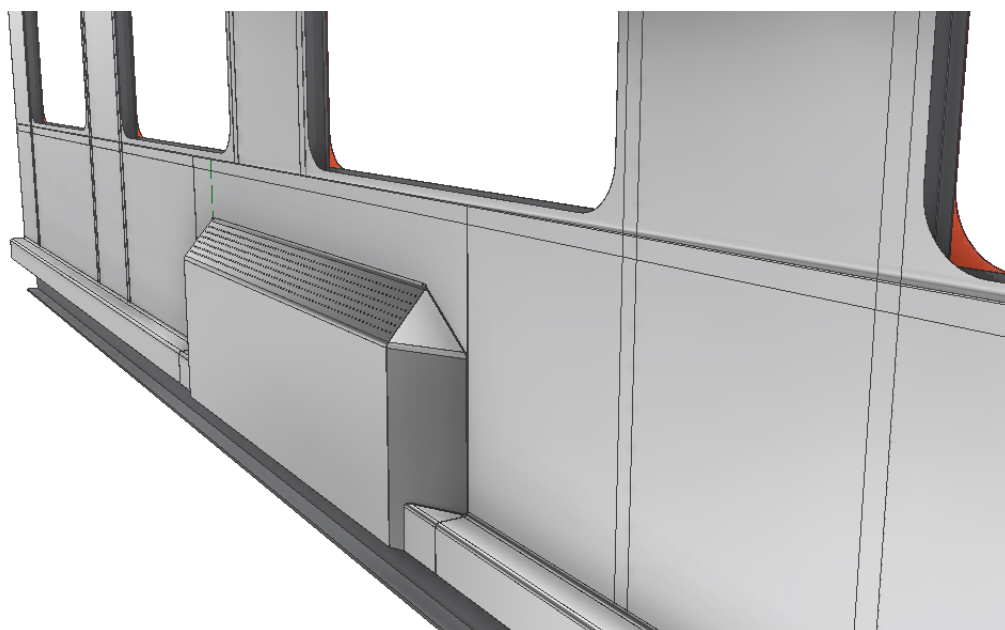
Následuje několik obrázků z již zabudované mříže klimatizace do vozu.



Obr. 67 Pohled na ochrannou mříž



Obr. 68 Pohled na uzavíratelnou klapku klimatizace zevnitř vozu



Obr. 69 Pohled na zakrytou klapku klimatizace ze vnitř vozu

15 Závěr

Úvod práce je věnován popsání funkce a rozvodů klimatizace ve voze Bmz. Následně je rozebrána problematika tlakových vln. Jejich vznik v návaznosti na provoz kolejových vozidel, velká část popisuje nejhorší případ vzniku tlakové vlny, a to při průjezdu vlaku tunelem. Kdy neustále vznikají tlakové vlny a putují od předního portálu tunelu k zadnímu a zpět. Tato část také obsahuje charakteristiku vlivu rázů na skříň vozu, s nimiž se při utěsnění vozu, tedy zamezení vniknutí tlakové vlny do prostoru pro cestující, musí konstrukce vozu vyrovnat.

Uzavíratelná mřížka je zařízení k udržení tlakového komfortu uvnitř vozu. Pod pojmem tlakový komfort se skrývá udržení změn tlaku v čase pod určitou mezí, toto upravují různé normy rozdílnými hodnotami. Pokud však chceme udržet naprostý tlakový komfort je maximální přípustná změna 0,1 kPa za 1s. Pokud by však tlaková ochrana selhala, je lidský organismus plně vystaven jejím účinkům. Ty mohou být pro člověka nejen nepříjemné, ale i nebezpečné, jak uvádí kapitola Vliv změny tlaku na lidský organismus.

Před započítáním konstrukční práce bylo nutné zjistit, které konkrétní normy mají vliv na tuto oblast. Bylo zjištěno minimální množství vzduchu, které musí mříží projít, pro dodržení normy pro pohodlí. V tomto případě je nutné zajistit průtok $20 \text{ m}^3/\text{hod}$. Z rychlosti, danou zadáním, byl vypočten potřebný průřez pro průtok takového množství vzduchu.

Na začátku praktické části je popsáno stávající řešení uzavíratelné mřížky klimatizace pro vozy Bmz a Ampz. Následuje návrh možných druhů řešení pro uzavíratelnou mřížku, pohon uzavírání a vnější ochrannou mříž. Tyto varianty byly následně zhodnoceny v tabulce, ze které pak vyšlo optimální řešení. Tedy uzavíratelná mřížka s vertikálním uložením lamel, s pneumatickým pohonem. Pro ochranou mříž bylo vybráno řešení s vertikálně uloženým labyrintem. Na toto vyhodnocení navazují požadavkové listy uzavíratelné mřížky a ochranné mříže, doplněné o morfologické matice jejich důležitých funkcí.

V návrhu vnější ochranné mříže jsou porovnány různé druhy profilů lamel vhodné pro tvorbu labyrintu. První porovnání je z pohledu rychlosti proudění za labyrintem, kdy je

nejvhodnější co nejrychlejší uklidnění rychlosti vzduchu za mřížkou. Z tohoto pohledu vychází nejlépe kombinace pravoúhlých lamel. Následuje srovnání rozměrů jednotlivých kombinací. Kdy rozměrově nejprůzračnější kombinací je labyrint sestavený ze dvou U profilů. Srovnání napětí při zatížení 3000 Pa ukázalo, že v pravoúhlých lamelách dojde k více než polovičnímu maximálnímu napětí dle Von Miseseho, než u U profilů. Také posunutí je výrazně menší u pravoúhlých lamel. Proto byla vybrána varianta s pravoúhlými lamelami.

Následuje popis profilu mřížky, ke kterému jsou lamely labyrintu přivařeny. Profil tvoří ohýbaný plech s prostřihy. Tyto prostřihy slouží pro uložení komponentů. Na vnější straně pro uložení celé mříže do hrubé stavby vozu. Na vnitřní straně slouží prostřihy pro uložení uzavíratelné mříže.

V dalších kapitole je uveden popis jednotlivých prvků uzavíratelné mřížky klimatizace. Pevná mříž slouží k uložení mříže pohyblivé. Otvory v pevné mříži slouží pro prostup vzduchu při otevřeném stavu. Na pevnou mříž jsou navařeny U profily. Na U profily jsou technologií hrotového navařování přidělané závitové čepy, ty poslouží pro upnutí pneumatického válce. Pro vedení pohyblivé mřížky jsou v pevné mříži umístěné drážky. Ke zvětšení plochy kontaktu pevné mřížky ve vedení je v místě drážky proveden návar.

Pohyblivá mříž slouží k překrytí otvorů v mříži pevné. Tím dojde k oddělení atmosféry vozu od atmosféry vnější. Síla potřebná pro pohyb je vyvozena pneumatickým válcem, který sílu příslušným mechanismem převede na pohyb mřížky v ose drážky. Pro rovnoměrné rozložení síly slouží navařený U profil uprostřed mřížky. U profil slouží také k upevnění mechanismu pro přenos síly z válce na mřížku. Vedení mřížky v drážce je řešeno pomocí šroubu, na jehož hlavě je umístěno teflonové ložisko.

Dále jsou v práci popsány tři varianty přenášení síly válce na pohyblivou mříž. Z těchto variant bylo jako nejlepší vybráno řešení s válcem uloženým souběžně s mřížkou. Toto řešení nabízí nízkou výšku konstrukce s jednoduchým vracením se do otevřeného stavu. Z důvodů působících sil, jež namáhají ojnici na ohyb, bylo vytvořeno řešení se zachycením těchto sil na rám pevné mříže.

V práci nechybí nezbytné kontroly prvků, které budou při funkci zařízení zatíženy. Ke kontrole zatížení byly použity klasické výpočetní metody a to pomocí vzorců a analýzy metody konečných prvků.

Dle síly působící na pohyblivou mříž byl navržen pneumatický válec o průměru pístu 25 mm. Důležitým parametrem válce, jež vyplývá ze síly válcem vyvozené, je rychlost, s kterou dokáže mříž přesunout z polohy otevřeno do polohy uzavřeno. V tomto případě dojde k uzavření mřížky za 0,027 s. Což je při rychlosti tlakové vlny 340 m/s a vzdálenosti čidla, které dá povel k zavření mřížky přibližně 11 m, čas dostatečný.

Zbylé výpočty jsou věnovány především potřebným minimálním utahovacím momentům jednotlivých šroubových spojení a jejich kontrole, kde vzhledem k nízkým působícím silám vychází velmi nízké utahovací momenty všech šroubových spojení. Uveden je i výpočet Hertzova tlaku, jež působí na styku ložiska s pevnou mříží. Spočteny jsou také svarové spoje, s nimiž jsou spojeny lamely ochranné mříže s profilem a U profily pro uchycení pístu s pevnou mříží.

Konec práce je věnován umístění celku uzavíratelné mřížky do hrubé stavby vozu. Do hrubé stavby je vytvořen otvor pro vsazení konstrukce. Otvor je vyztužen L profily, ty zpevňují hrubou stavbu oslabenou otvorem pro mříž klimatizace. Profily také slouží pro připevnění mříže.

Cílem práce bylo navrhnout konstrukční řešení tlakotěsné uzavírací mřížky klimatizace pro tlakotěsný velkoprostorový vůz vysokorychlostního vlaku, jehož maximální rychlost je 200 km/h. Dále bylo požadováno zhodnotit stávající stav, a zjistit informace o tlakovém rázu a jeho účincích, vytvořit technickou zprávu s popisem navrhovaného zařízení doplněnou o potřebné výpočty. Splnění těchto požadavků bylo popsáno ve výše uvedených odstavcích.

16 Odkazy a použitá literatura

- [1] POHL, J. *Rychlá železniční doprava*, Siemens: 2008, [online], [cit. 3. 2. 2012]. Dostupné z: <http://vrt.fd.cvut.cz/data/prednasky/pohl2008.pdf>
- [2] ŽELEZNIČNÍ MAGAZÍN 5/2008, *Rychlá železniční osobní doprava, díl 4.: Tunely*, POHL, J., ISSN 1212-1851
- [4] ČSN EN 13129 – 1. *Železniční aplikace - Klimatizace pro kolejová vozidla hlavních tratí - Část 1: Parametry pohodlí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.24 s. Třídící znak 281521.
- [5] Uložiště SCRIBD.COM, *Nature of pressure waves induced by a high-speed train travelling through a tunnel*, [cit. 8. 5. 2012]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/37192196/Nature-of-Pressure-Waves-Induced-by-a-High-speed>.
- [6] Vitalion.cz, *Zalehnutí v uších*, [online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: <http://priznaky.vitalion.cz/zalehnuti-v-usich/>
- [7] Wikipedia.org, *Mechanoreceptor*, [online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mechanoreceptor>
- [8] Wikipedia.org, *Cortiho orgán*, [online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Cortiho_org%C3%A1n
- [9] Wikipedia.org, *Ucho*, [online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Ucho>
- [10] Rozvoj environmentální výchovy a vzdělávání na školách, *Ochrana sluchu*, [Online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: http://ostrava-educanet.cz/evvo/index.php?option=com_content&view=article&id=19&Itemid=21
- [11] Podklady firmy Siemens
- [12] SKF.cz, *Kluzná ložiska*, [online], [cit. 31. 3. 2012]. Dostupné z: <http://www.skf.com/files/262138.pdf>
- [13] Bosch Rexroth, *Pneumatické válce*, [online], [cit. 5. 4. 2012]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/pneumatics->

catalog/Vornavigation/Vornavi.cfm?CFID=10864368&CFTOKEN=66684216&Language=CS&PageId=p8930

[14] ESAB.cz, *Tabulka pro převod značení ocele*, [online], [cit. 8. 5. 2012]. Dostupné z: http://bcz.vamberk.eu/CD_CZ_5_2011/PDF/1_pridavne_svarovaci/N/N11_porovnani.pdf

[15] BEARINGWORKS.com, *Materiálové vlastnosti PTFE*, [online], [cit. 20. 4. 2012]. Dostupné z: http://www.bearingworks.com/content_files/pdf/retainers/PTFE%20datasheet.pdf

[16] Wikipedia.org, *PTFE*, [online], [cit. 20. 4. 2012]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Polytetrafluoroethylene>

[17] VINKSDA.nl, *program HertzWin*, [online], [cit. 20. 2. 2012]. Dostupné z: <http://en.vinksda.nl/software-toolkit/hertz-contact-stress-calculations>

[18] TRIBOLOGY-ABC.com, *Online kalkulačka pro výpočet Hertzova tlaku*, [online], [cit. 22. 4. 2012]. Dostupné z: http://www.tribology-abc.com/calculators/e2_1.htm

[19] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky – druhé doplněné vydání*, 2005. 907 s. ISBN 80-7361-011-6

[20] NĚMČEK, M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů – Spoje, druhé vydání*, 2008. 114s. ISBN 978-80-248-1782

17 Seznam příloh

Příloha A:	Katalog použitého pneumatického válce
Příloha B:	Katalog použitého ložiska
Příloha C:	Okno programu HertzWin
Příloha D:	Okno online kalkulačky pro výpočet Hertzoveho tlaku
Příloha E:	Fotografie interiéru vozu Bmz, kanály pro teplý a studený vzduch
Příloha F:	Fotografie klimatizační jednotky vozu Bmz
Příloha G:	Fotografie interiéru vozu Bmz, kanál vedení teplého vzduchu s vývodem pod okno
Příloha H:	Výkres uzavíratelné mřížky
Příloha CH:	Výkres umístění mřížky na vozidle

Poděkování

Chci poděkovat pánům ing. Antonínu Šeuerovi a doc. Dr. Ing. Ladislavu Kováři za jejich čas a cenné rady, které mi při řešení práce poskytli.

Přílohy:

Příloha A: Katalog použitého pneumatického válce [2]

Pístnicové válce → Krátkozdvíže a kompaktní válce

Kompaktní válec, Série KPZ

► Ø 16 - 100 mm ► Přípoje: M5 - G 1/8 ► Jednočinný, bez tlaku zasunutý ► S magnetickým pístem ► Tlumení: elastický ► Pístní tyč: Vnitřní závit



Normy	NFE 49004
Přípoj stlačeného vzduchu	Vnitřní závit
Provozní tlak min./max	1,5 bar / 10 bar
Teplota okolí min./max.	-20 °C / +80 °C
Teplota média min./max.	-20 °C / +80 °C
Médium	Stlačený vzduch
Max. velikost částic	5 µm
Obsah oleje stlačeného vzduchu	0 mg/m³ - 5 mg/m³
Tlak ke stanovení sil na píst	6 bar

Materiály:	
Válcová trubka	Hliník, eloxovaný
Pístní tyč	Nerezavějící ocel
Čelní kryt	Hliník
Krajní víko	Hliník
Těsnění	Polyuretan
Stěrač	Polyuretan

Technické poznámky

- Tlakový rosný bod musí ležet nejméně 15 °C pod teplotou okolí a média a smí činit max. 3 °C.
- Obsah oleje stlačeného vzduchu musí zůstat po celou životnost konstantní.
- Používejte výhradně oleje schválené firmou Bosch Rexroth, viz kapitola „Technické informace“.

Ø pístu	[mm]	16	20	25	32	40
Síla na píst zasunutí	[N]	12	1	25	35	43
Síla na píst vysunutí	[N]	94	15	234	387	622
Nárazová energie	[J]	0,11	0,1	0,2	0,4	0,52
Hmotnost	Zdvih 0 mm	[kg]	0,07	0,09	0,143	0,223
	Zdvih +10 mm	[kg]	0,014	0,0	0,02	0,03
Zdvih max.	[mm]	25	2	25	25	25

Ø pístu	[mm]	50	63	80	100
Síla na píst zasunutí	[N]	82	82	105	215
Síla na píst vysunutí	[N]	953	1565	2551	3930
Nárazová energie	[J]	0,64	0,75	0,75	1
Hmotnost	Zdvih 0 mm	[kg]	0,446	0,757	1,318
	Zdvih +10 mm	[kg]	0,05	0,08	0,11
Zdvih max.	[mm]	25	25	25	25

SKF Kompozit PTFE

Ložisko s dlouhou životností

NÍZKÉ TŘENÍ VEDE K DLOUHÉ ŽIVOTNOSTI I BEZ ÚDRŽBY

Tam, kde jiné materiály nedokáží zaručit dostatečnou životnost, je nejlepším řešením suché kluzné ložisko s teflonovou kluznou vrstvou. Pouzdra řady SKF Kompozit PTFE pracují bez maziva a výborně se osvědčila v uložení, která jsou při vysokých kluzných rychlostech vystavena velkému zatížení. SKF nabízí kompletní sortiment válcových pouzder a přírubových válcových pouzder odpovídajících normám ISO 3547 a DIN 1494. Vyrábí se také kompletní řada axiálních kluzných kroužků i kluzných pásů.

Kluzná pouzdra SKF Kompozit PTFE poskytují řadu výhod:

- provoz bez údržby
- velmi nízké tření
- vysoká únosnost
- vysoké provozní teploty
- vysoká kluzná rychlost
- malá provozní vůle

MATERIÁL

Kluzná pouzdra SKF Kompozit PTFE kombinují mechanickou pevnost oceli s nízkým třením kluzné plochy z PTFE. Střední vrstva z porézního cínového bronzu zaručuje pevnou vazbu kluzné vrstvy na výtuhu a zároveň usnadňuje odvádění tepla generovaného během provozu. Ocelová výtuhá se kvůli ochraně proti korozi elektrolyticky pocínuje. Všechny plochy kluzného pouzdra SKF Kompozit PTFE lze s výjimkou kluzné vrstvy obrábět.

HLAVNÍ OBLASTI POUŽITÍ¹⁾

Kluzná pouzdra SKF Kompozit PTFE jsou vhodná tam, kde se vyskytují vysoká zatížení s požadavky na bezúdržbový provoz.

Oblasti, ve kterých se tato pouzdra nejčastěji využívají:

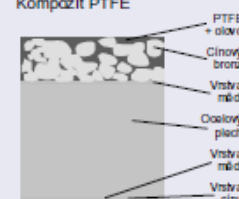
- automobilový průmysl
- zařízení pro manipulaci s materiálem
- domácí spotřebiče a spotřební zboží
- textilní stroje

MAZÁNÍ

Kluzná vrstva na bázi PTFE i bez maziva či jiné údržby umožňuje plynulý provoz s nízkým třením. V krátké záběhové fázi se určité množství kluzného materiálu PTFE přenáší na protilehlou plochu, čímž vzniká fyzicky vázaný kluzný film.

Nicméně pravidelné domazávání plastickým mazivem lze doporučit i tohoto typu ložisek, protože jím lze ložiska ochránit před korozí a nečistotami. Přítomnost oleje nebo jiné tekutiny je výhodné, chceme-li dosáhnout lepšího výkonu.

Řez kluzným pouzdem SKF Kompozit PTFE



Charakteristiky:	
Příp. zatížení (dyn/stat), N/mm ²	80/250
Připustná kluzná rychlost, m/s	2,0
Součinitel tření μ	0,03 .. 0,08
Teplotní rozsah, °C	-200 .. +250
Doporučení:	
Tolerance hřídele	f6 – h7
Tolerance tělesa	H7
Povrchová drsnost R_a , μm	0 .. 0,4
Tvrdost hřídele, HB	300 – 600

¹⁾ Životnost kluzných pouzder SKF Kompozit PTFE závisí na vzájemném vlivu zatížení, mazání, povrchové drsnosti, kluzné rychlosti a teploty v konkrétním uložení.

Poznámka: Vzhledem k tomu, že kluzná pouzdra SKF Kompozit PTFE obsahují olovo, nesmějí s nimi přijít do styku potraviny, nápoje ani farmaceutické výrobky. V uvedených případech doporučujeme použít kluzná pouzdra SKF Kompozit POM nebo SKF Kompozit s nerezovým pouzdem.

Příloha C: Okno programu HertzWin [17]

HertzWin 1.2.2

Material properties

Body 1: Choose material
 Young's moduli 0.5 GPa
 Poisson's ratio 0.46
 Maximum stress 0 MPa

Body 2: Stainless steel, AISI 301 HV+
 Young's moduli 180 GPa
 Poisson's ratio 0.29
 Maximum stress 0 MPa

Dimensions and contact type

☐ Circular/empirical contact ☒ Line contact

Body 1: Radius 1 4 mm
 Radius 1 ☒ Infinite
 Length 4 mm

Body 2: Radius 2 ☒ Infinite
 Radius 2 ☒ Infinite

Force

Normal 96.6 Newton

Results

Half contact width 441.09 μm Minimum yield strength 20.93 MPa
 Hertz contact stress 34.86 MPa Impression 74.94 μm
 Average stress 27.38 MPa Hertz contact stiffness 1.54E06 N/m
 Max. shear stress 10.47 MPa
 346.77 μm below the surface)

Contact

F normal

Contact


Method: ☒ Exact ☐ Approximation

Language: English

© 2009 Vink System Design & Analysis

Příloha D: Okno online kalkulačky pro výpočet Hertzoveho tlaku [18]

Hertzian initial point contact

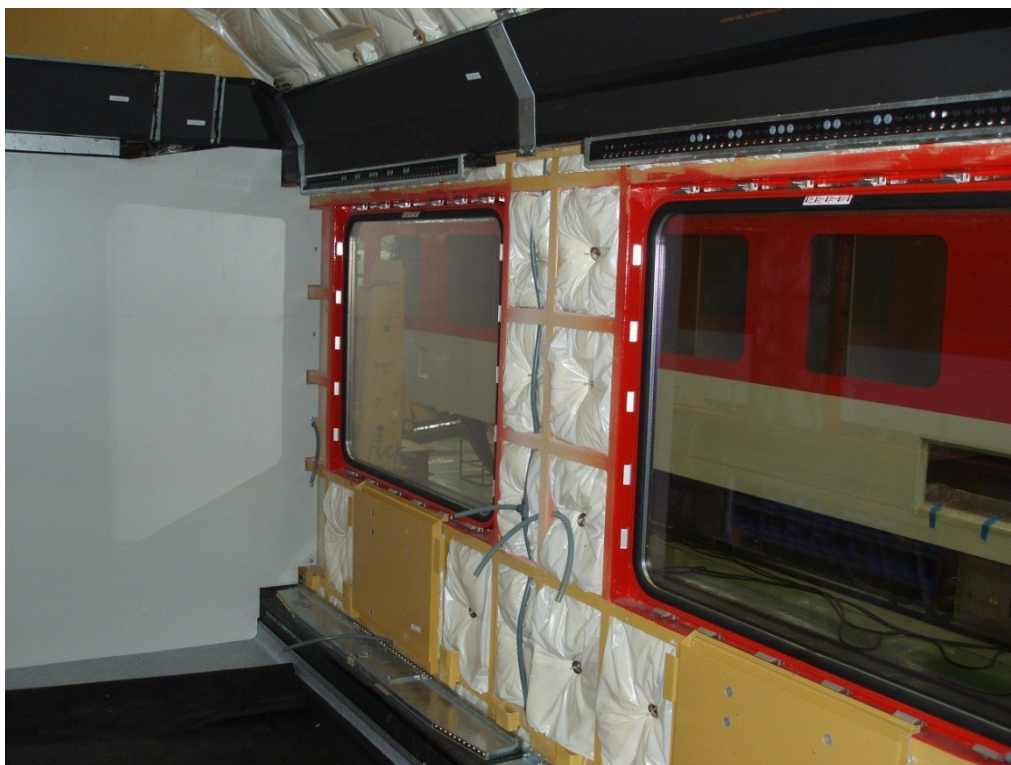


	Body 1	Body 2
Young's modulus E	0.5 GPa	180 GPa
Poisson's ratio ν	0.46	0.29
Radius R (enter R=0! for a plain surface)	4 10^{-3} m	0 10^{-3} m

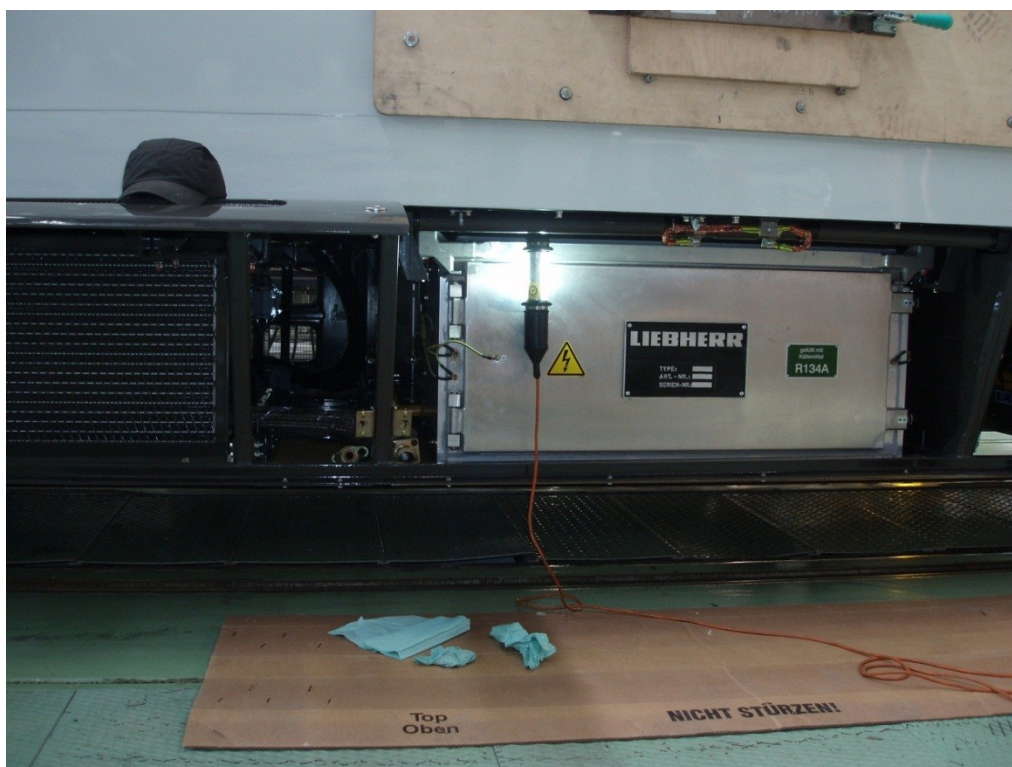
Load F prescribed 96.6 N

Effective Young's modulus E^*	1.3 GPa
Effective contact radius R^*	2 10^{-3} m
Semi contact width r	0.31 10^{-3} m
Indentation δ	23.31 10^{-6} m
Contact stiffness	0.39 10^6 N/m
Mean contact pressure p_m	0.02 GPa
Maximum contact pressure p_{max}	0.03 GPa

Příloha E: Fotografie interiéru vozu Bmz, kanály pro teplý a studený vzduch



Příloha F: : Fotografie klimatizační jednotky vozu Bmz [11]



*Příloha G: : Fotografie interiéru vozu Bmz, kanál vedení teplého vzduchu
s vývodem pod okno*

